



TESIS - MO142528

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN LOKASI POTENSIAL ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Fahreza Okta Setyawan S.Kel
04311650030002

Dosen Pembimbing :

Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

R. Haryo Dwito Armono,S.T., M.Eng.,Ph.

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK DAN MANAJEMEN ENERGI LAUT

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

SURABAYA, 2018



TESIS - MO142528

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN LOKASI POTENSIAL ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Fahreza Okta Setyawan S.Kel
04311650030002

DOSEN PEMBIMBING:
Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D
R. Haryo Dwito Armono,S.T., M.Eng.,Ph.D

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK DAN MANAJEMEN ENERGI LAUT
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA, 2018



THESIS - MO142528

IDENTIFICATION AND MAPPING POTENTIAL WAVE ENERGY IN INDONESIAN WATERS

Fahreza Okta Setyawan S.Kel
04311650030002

SUPERVISOR:

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

Master Degree Program

Ocean Energy Engineering and Management

Ocean Engineering Department

Faculty Of Marine Technology

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Surabaya, 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

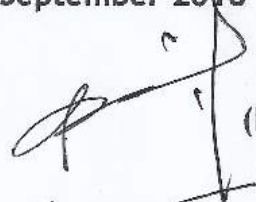

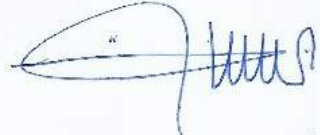
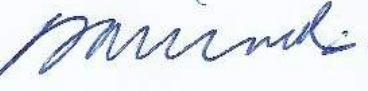
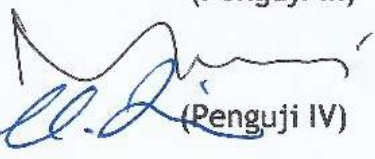

Fahreza Okta Setyawan

NRP. 04311650030002

Tanggal Ujian : 16 Juli 2018


Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof.Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D
NIP. 19690420 199403 1 003  (Pembimbing I)
2. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19680810 199512 1 001  (Pembimbing II)
3. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19710723 199512 1 001  (Penguji I)
4. Dr.Ir. Wahyudi M.Sc
NIP. 19601214 198903 1 001  (Penguji II)
5. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D
NIP. 19610805 198910 1 001  (Penguji III)
6. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.
NIP. 19690828 200012 1 001  (Penguji IV)



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan
Plt Dekan,


Prof. Ir. Apri Djunaidy, M.Sc., Ph.D

NIP. 19581005 198603 1 003

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN LOKASI POTENSIAL ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Nama : Fahreza Okta Setyawan

NRP : 04311650030002

Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemetaan potensi energi gelombang di perairan Indonesia. Penelitian ini dilakukan untuk mengupdate peta potensi energi gelombang yang telah ada, sehingga dapat dijadikan acuan untuk survey lanjutan oleh lembaga pemerintahan dan lembaga riset terkait. Penelitian ini mengkaji dari beberapa aspek yaitu perhitungan menggunakan rumus energi gelombang, perhitungan terkait efisiensi teknologi energi gelombang, perhitungan terkait parameter fisik perairan Indonesia, pembahasan terkait regulasi laut yang ada, serta pembahasan tentang aspek ekonomi. Penelitian ini menggunakan metode inverse distance weight, dimana metode ini digunakan untuk menghitung potensi energi yang ada dari data yang tidak begitu banyak. Data utama yang digunakan adalah data dari hasil ekstraksi citra satelit Altimetri dengan resolusi $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Hasil dari penelitian ini yaitu perairan di Indonesia memiliki potensi energi gelombang sebesar 717.000 MW. Lokasi perairan Indonesia yang memiliki potensi energi gelombang terbesar terdapat di perairan Provinsi Bengkulu sebesar 600 kW dan perairan Pulau Sumba sebesar 900 kW. Besar potensi tersebut tidak semua dapat dimanfaatkan karena teknologi yang kurang memadai, kondisi fisik lingkungan perairan yang kurang sesuai, serta regulasi laut di Indonesia yang membatasi zona pemanfaatan energi gelombang laut.

Kata Kunci :

Energi Gelombang, Satelit Altimetri, Perairan Indonesia

IDENTIFICATION AND MAPPING POTENTIAL WAVE ENERGY LOCATION IN INDONESIAN WATERS

Name : Fahreza Okta Setyawan

NRP : 04311650030002

Supervisor : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

This study discusses the mapping of the potential wave energy in the waters of Indonesia. This research was conducted to update the wave energy potential map that has been existed, so it become referable to advanced surveys by government agencies and related research institutions. This research examines from several aspects, namely the calculation using the formula, calculation of wave energy technology efficiency related waves, calculation of wave energy related physical parameters the waters of Indonesia, a related discussion of the regulation of the sea, as well as a discussion of economic aspects. This research method using inverse distance weight, where this method is used to calculate the potential energy when the data is not much. Primary data that used is extraction from a satellite image Altimetry with a resolution of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. The result of the research is waters in Indonesia have the potential energy of the wave 717,000 MW. The location of the waters of Indonesia which has the biggest wave energy potential exists in the waters of Bengkulu province of 600 kW and the waters of Sumba island of 900 kW. Great potential is not all can be used because of inadequate technology, the physical condition of the environment which is less appropriate, as well as regulation of the sea in Indonesia that limit utilization of wave energy zone.

Key Words :

Waves Energy, Satellite Altimetry, Indonesian Waters

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas segala nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Buku Thesis yang berjudul **IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN LOKASI POTENSIAL ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA** dengan lancar. Buku thesis ini disusun untuk menyelesaikan mata kuliah Thesis sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (S2) di Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Buku ini berisi tentang parameter yang berpengaruh terhadap penentuan lokasi energi gelombang serta lokasi potensi untuk energi gelombang di Indonesia. Diharapkan dengan selesainya buku thesis ini dapat memberikan kebermanfaatan pengetahuan tentang energi gelombang untuk teknologi kelautan dan industri energi terbarukan. Penulisan buku thesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan koreksi untuk penulisan selanjutnya agar lebih baik. Penulis juga berharap semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, 31 Juli 2018

Fahreza Okta Setyawan

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini , penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran proses pengerjaan buku Tesis ini. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahannya kepada penulis dalam proses pengerjaan tesis ini.
2. Kedua orang tua Bapak Teguh Setyawanto, Ibu Farida Suryati Liputo dan Kakak Fardanto Setyatama, Robbiatul Adawiyani yang telah senantiasa mendukung, selalu memberikan doa serta motivasi selama penulis menyusun tesis ini.
3. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah sabar membimbing penulis hingga selesainya buku tesis ini, serta memberikan pencerahan tentang energi gelombang.
4. Bapak R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan serta motivasi kepada penulis, khususnya dalam proses teknis pengerjaan tesis ini.
5. Bapak Dr.Eng. Rudi Walujo Prastianto, selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK – ITS.
6. Fathona Nur Aisyah S.Pi, yang telah membantu penulis dalam penulisan tesis ini dan diskusi terkait topik dalam buku tesis ini, serta memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
7. Sahabat penulis Fyan, Rino, Mas Iqbal, Yani, Mbak Devi, Mas Sony, Mas Dendy, Mbak Siti, Thesyandra, Mbak Ita, Winda, Haris, Mas Riki, Ilham serta teman – teman pascasarjana FTK ITS yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga Allah melimpahkan rahmat – Nya kepada kita semua. Amin

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
GAMBAR	viii
TABEL.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan masalah	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gelombang	5
2.1.1 Diagram Persebaran Gelombang	8
2.2 Energi Gelombang.....	9
2.2.1 Potensi Teoritis	16
2.2.2 Potensi Teknis	16
2.2.3 Potensi Praktis.....	16
2.2.4 Potensi Terakses.....	17
2.2.5 Potensi Layak Dikembangkan	17
2.3 Teknologi Energi Gelombang	17

2.4	Altimetri	24
2.5	Bathimetri.....	26
2.6	Sistem Informasi Geografis.....	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Pendahuluan	31
3.2	Diagram alir.....	32
3.3	Langkah pengerjaan	34
3.3.1	Identifikasi masalah	34
3.3.2	Studi literatur	34
3.3.3	Pemilihan jenis data	34
3.3.4	Pembuatan peta	35
3.3.5	Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pemetaan Tinggi Gelombang Signifikan	39
4.2	Verifikasi data satelit dengan ECMWF	42
4.3	Pemetaan Energi Gelombang Teoritis.....	45
4.4	Pemetaan Energi Gelombang Teknis	48
4.5	Pemetaan Energi Gelombang Praktis.....	56
4.6	Pemetaan Energi Gelombang Terakses.....	60
4.7	Pemetaan Energi Gelombang Layak Dikembangkan.....	79
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		103
LAMPIRAN.....		109

GAMBAR

Gambar 1. Peta Potensi Energi Gelombang Laut	2
Gambar 2. Sket definisi gelombang	6
Gambar 3 Karakteristik Gelombang	6
Gambar 4 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam.....	7
Gambar 5. Skema karakter penangkapan energi gelombang laut.....	18
Gambar 6 Lokasi konverter energi gelombang.....	19
Gambar 7 Skema koreksi pada satelit Altimetri	25
Gambar 8. Bentuk relief dasar laut	27
Gambar 9 Prosedur dan bagian - bagian dari ArcGIS	29
Gambar 10 Contoh metode <i>Weighted Overlay</i>	30
Gambar 11. Titik – titik Observasi satelit Altimetri	31
Gambar 12. Titik - Titik Observasi ECMWF	32
Gambar 13. Diagram Alir	33
Gambar 14 Tampilan data Satelit Altimetri dan ECMWF	39
Gambar 15. Peta Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Januari.....	41
Gambar 16 Diagram persebaran gelombang di perairan Indonesia tahun 2012 – 2016.....	42
Gambar 17. Peta <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE) tahun 2012	43
Gambar 18. Perbandingan Data Tinggi Gelombang Signifikan koordinat (121, -10) tahun 2012 – 2016.....	44
Gambar 19. Perbedaan Relatif Tinggi Gelombang Signifikan koordinat (121, -10)	44
Gambar 20 Peta Energi Gelombang Teoritis Bulan Januari	46

Gambar 21 Peta Potensi Energi Gelombang Teoritis	47
Gambar 22 Wave rose dan distribusi gelombang perairan barat daya Sumatera..	48
Gambar 23 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Jawa	49
Gambar 24 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Bali	50
Gambar 25 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan NTB	50
Gambar 26 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Sumba	51
Gambar 27 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan NTT	51
Gambar 28 Wave rose dan distribusi gelombang perairan utara Papua	52
Gambar 29 Peta Energi Gelombang Teknis Bulan Januari	53
Gambar 30 Peta Potensi Energi Gelombang Teknis	55
Gambar 31 Peta Alur Laut Kepulauan Indonesia	56
Gambar 32 Peta Bathimetri Indonesia	58
Gambar 33 Peta Energi Gelombang Praktis Bulan Januari	59
Gambar 34 Peta Potensi Energi Gelombang Praktis.....	60
Gambar 35 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil Provinsi Jawa Timur.....	62
Gambar 36 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Jawa Timur	63
Gambar 37 Rata - rata energi gelombang Zona A Perairan Selatan Jawa Timur .	64
Gambar 38 Potensi daya Zona A Perairan Selatan Jawa Timur	65
Gambar 39 Diagram persebaran gelombang di perairan Zona A Jawa Timur tahun 2012 – 2016.....	65
Gambar 40 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Bengkulu	66
Gambar 41 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Bengkulu	67
Gambar 42 Rata - rata energi gelombang Zona A dan B perairan Bengkulu	68

Gambar 43 Potensi daya Zona A dan B Perairan Bengkulu	68
Gambar 44 Diagram persebaran gelombang di Zona A Pulau Enggano tahun 2012 - 2016	69
Gambar 45 Diagram persebaran gelombang di Zona B Bengkulu tahun 2012 - 2016	69
Gambar 46 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Sekitar Pulau Lombok)	70
Gambar 47 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Pulau Sumbawa Bagian Barat Daya). 71	
Gambar 48 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Pulau Sumbawa Bagian Timur).....	71
Gambar 49 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Nusa Tenggara Barat	72
Gambar 50 Rata – rata Energi Gelombang Zona A perairan Nusa Tenggara Barat	73
Gambar 51 Potensi daya Zona A Perairan Nusa Tenggara Barat	73
Gambar 52 Diagram persebaran gelombang di Zona A NTB tahun 2012 - 2016	74
Gambar 53 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Timur (Alur Laut Perairan Pulau Sumba)	75
Gambar 54 Peta Energi Gelombang Terakses Pulau Sumba	76
Gambar 55 Rata - rata energi gelombang Zona A - D perairan Pulau Sumba.....	77
Gambar 56 Potensi daya Zona A - D Perairan pulau Sumba.....	77
Gambar 57 Diagram persebaran gelombang di Zona A - D tahun 2012 - 2016...	78
Gambar 58 Peta Potensi Energi Gelombang Terakses.....	79
Gambar 59 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Bengkulu Tahun 2016	86
Gambar 60 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Timur Tahun 2016.....	87
Gambar 61 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun 2016..	89

Gambar 62 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2016	90
Gambar 63 Peta Sistem Tenaga Listrik Provinsi Bengkulu.....	92
Gambar 64 Peta Sistem Tenaga Listrik Provinsi Jawa Timur	93
Gambar 65 Peta Sistem Tenaga Listrik Pulau Lombok.....	94
Gambar 66 Peta Sistem Tenaga Listrik Pulau Sumba	95
Gambar 67 Peta Potensi Energi Gelombang Layak Dikembangkan	97
Gambar 68 Peta Lokasi Potensi Energi Gelombang.....	98

TABEL

Tabel 1. Teknologi energi gelombang di dunia	22
Tabel 2 Potensi Energi Gelombang Teoritis	48
Tabel 3. Teknologi gelombang <i>offshore</i>	54
Tabel 4 Potensi Energi Gelombang Teknis	55
Tabel 5 Potensi Energi Gelombang Praktis	60
Tabel 6 Potensi energi gelombang terakses	79
Tabel 7 Nilai Operasional Energi Gelombang	81
Tabel 8 Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan Tahun 2017.....	83
Tabel 9 Informasi BPP tahun 2017 dan Permen ESDM 50 tahun 2017	84
Tabel 10 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Bengkulu.....	86
Tabel 11 Proyeksi Kebutuhan Listrik Provinsi Jawa Timur	88
Tabel 12 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Nusa Tenggara Barat	89
Tabel 13 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Nusa Tenggara Timur	91
Tabel 14 Parameter penentuan lokasi potensi energi gelombang layak dikembangkan	96
Tabel 15 Potensi Energi Gelombang Layak Dikembangkan	98

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

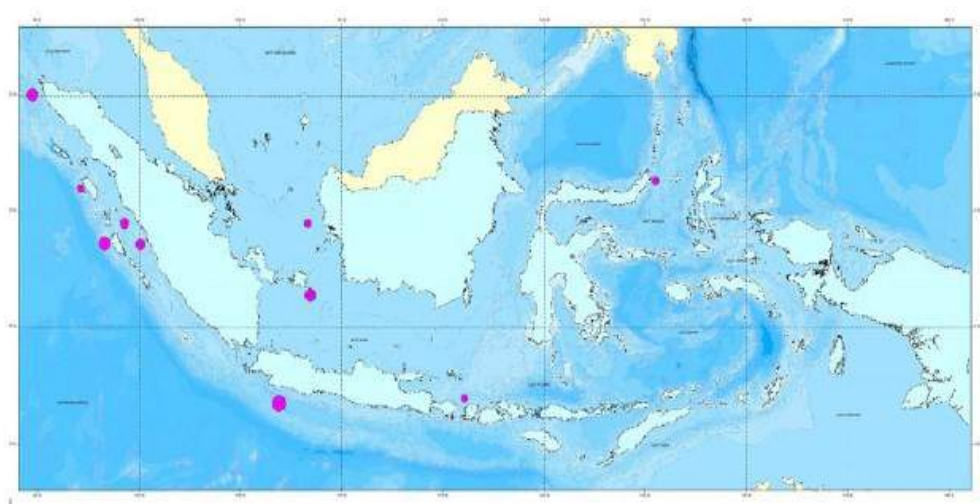
Potensi energi adalah besaran energi yang terkandung dalam suatu entitas sumber daya alam, yang selanjutnya dikenal dengan istilah sumber daya energi. Informasi atau skala besaran potensi energi dapat menjadi pertimbangan dalam penilaian apakah potensi tersebut cukup memadai untuk dikembangkan atau dikelola untuk menghasilkan energi. Usaha pengembangan energi laut memerlukan dukungan peningkatan eksplorasi sumber energi laut melalui kegiatan survei untuk mendapatkan data dan informasi seberapa besar kandungan energi dari sumber di laut. Salah satu kegiatan eksplorasi yang perlu terus digiatkan adalah kegiatan survei untuk pengukuran sumber energi laut di daerah perairan yang potensial. Dengan survei periodik, perhitungan energi laut dapat dilaksanakan berkesinambungan dan besaran potensi energi laut dapat diperbaharui dari waktu ke waktu (Mukhtasor, 2014).

Menurut Wave Energy Centre yang bekerja sama dengan Implementing Agreement on Ocean Energy System (OES), mendefinisikan bahwa energi laut adalah energi yang dihasilkan dari beberapa teknologi yang menggunakan sumber energi dari tenaga gelombang, arus laut, pasang surut, perbedaan panas laut (Ocean Thermal Energy Conversion) dan perbedaan salinitas (kadar garam) untuk menghasilkan listrik. Energi gelombang laut merupakan sumber energi potensial yang belum banyak dikembangkan, meskipun beberapa terobosan telah dilakukan. Energi ini tidak hanya sumber energi yang besar, tetapi juga bisa lebih diandalkan daripada kebanyakan sumber energi terbarukan yang lainnya (Maulud *et al*, 2008). Untuk energi gelombang laut di Indonesia, bagian selatan Jawa dan bagian barat Sumatera merupakan tempat potensi gelombang yang cukup besar untuk dikembangkan karena wilayahnya langsung menghadap ke laut lepas, yaitu Samudera Hindia, serta di bagian utara Papua karena wilayahnya berhadapan langsung dengan Samudera Pasifik.

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, mengelola, menganalisis dan

mengaktifkan kembali data yang mempunyai referensi keruangan untuk berbagi tujuan yang berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan (Burrough, 1986). SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti ; lokasi, kondisi, trend, pola dan permodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya (Hartoyo *et al*, 2010).

Beberapa tahun ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Indonesia bekerjasama dengan beberapa lembaga riset di Indonesia telah melakukan survei dan penelitian untuk mengetahui tentang potensi energi laut di beberapa lokasi di Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan adanya Laporan Potensi Energi Laut yang diterbitkan pada tahun 2014. Namun, hasil ini dinilai belum cukup mewakili seluruh lokasi potensi energi laut di perairan di Indonesia.



Gambar 1. Peta Potensi Energi Gelombang Laut(P3GL Balitbang ESDM dan ASEL, 2014)

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi yang berpotensi memiliki energi gelombang laut di seluruh perairan Indonesia sehingga dapat menjadi masukan bagi kementerian ESDM maupun lembaga – lembaga riset dalam melakukan studi survei yang lebih detail selanjutnya. Metode yang digunakan adalah metode pemetaan *Inverse Distance Weight (IDW)* yang merupakan salah satu metode dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan cara menginterpretasikan data citra satelit altimetri menjadi energi gelombang. Hasil identifikasi lokasi pada penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk memberikan prediksi awal daerah – daerah yang potensial energi gelombang lautnya.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka beberapa permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapakah besaran potensi energi gelombang laut di seluruh perairan Indonesia secara teoritis, teknis, praktis, terakses, maupun layak dikembangkan?
2. Dimakah lokasi – lokasi di perairan Indonesia yang memiliki potensi energi gelombang ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan besaran energi gelombang di seluruh perairan Indonesia secara teoritis, teknis, praktis, terakses, maupun layak dikembangkan.
2. Mendapatkan peta lokasi potensi energi gelombang di perairan Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari Tesis ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Secara akademik sebagai penunjang ilmu teknologi yang sudah ada sebelumnya.

- b. Sebagai suatu rekomendasi awal untuk lokasi potensi energi gelombang di Indonesia yang nantinya dapat digunakan untuk kegiatan survei selanjutnya serta merupakan peluang ekonomi cukup besar untuk pembangunan pembangkit listrik dengan energi terbarukan.

1.5 Batasan masalah

Batasan masalah dari tesis ini adalah :

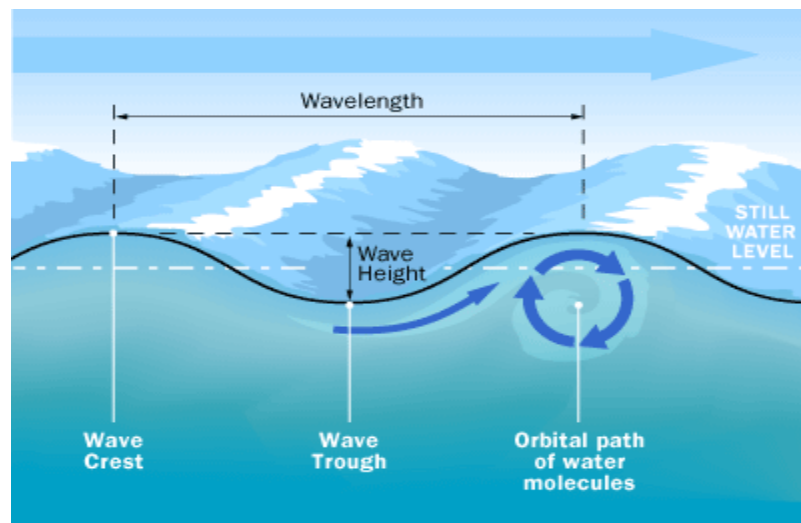
- Perhitungan mengenai energi gelombang laut yaitu di perairan lepas pantai (*offshore*) Indonesia.
- Data gelombang yang digunakan selama 5 tahun (2012 – 2016) didapatkan dari satelit altimetri dan *European Centre for Medium – Range Weather Forecasts* (ECMWF) serta pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel 2013, ODV 4, ArcGIS 10.3*.
- Identifikasi lokasi potensi energi gelombang laut ditampilkan dengan menggunakan peta.
- Perhitungan nilai energi gelombang dilakukan secara teoritis, teknis, praktis, terakses, dan layak dikembangkan.
- Teknologi energi gelombang yang digunakan merupakan teknologi untuk perairan lepas pantai (*offshore*).
- Penentuan arah gelombang dominan dilakukan untuk menentukan posisi peletakan teknologi energi gelombang.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

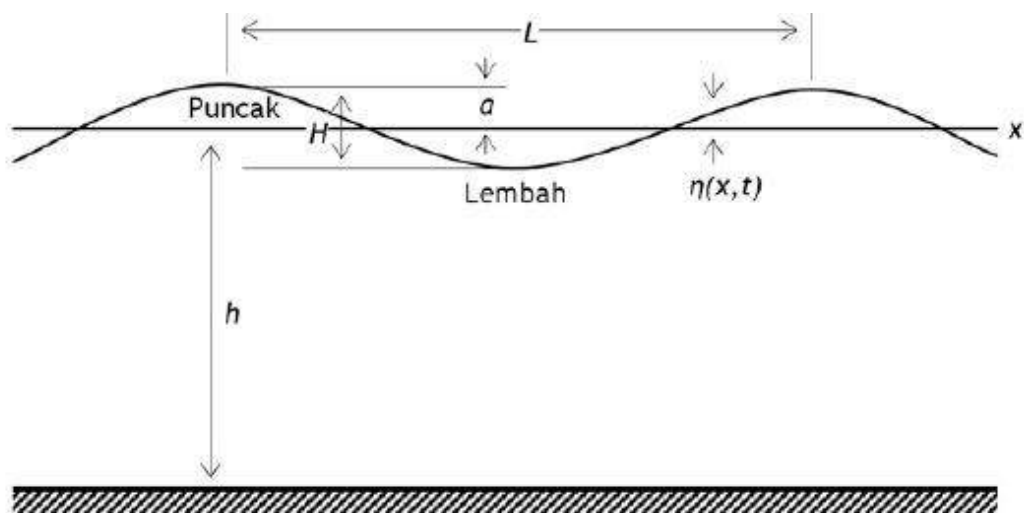
Menurut Triatmodjo (1999), menyatakan bahwa susunan gelombang dilautan baik bentuk maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks, sehingga tidak dapat diuraikan. Gelombang laut dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut; gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik – menarik antara bumi – bulan – matahari; gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi, gerakan lempeng bumi atau gempa di dasar laut; dan gelombang riak terbentuk oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya. Adapun beberapa istilah dan bagian gelombang meliputi :

- *Crest* (puncak) : Titik tertinggi (puncak) gelombang.
- *Through* (lembah) : Titik terendah (lembah) gelombang.
- *Wave Height* (tinggi gel.) : Jarak vertikal antara *crest* dan *through*.
- *Wave Length* (panjang gel.) : Jarak berturut – turut antara dua buah *crest* atau dua buah *through*. $L = gT^2 / 2\pi$
- *Wave Period* (periode gel.) : Waktu yang dibutuhkan *crest* untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut.
- *Wave steepness* (kemiringan gel.) : perbandingan antara panjang gelombang dengan tinggi gelombang.



Gambar 2. Sket definisi gelombang (Black,1986)

Menurut Hutabarat dan Evans (1985), pada umumnya bentuk gelombang di alam cukup menantang untuk digambarkan secara matematis karena tidak teratur, berpola tiga dimensi dan memiliki bentuk yang acak. Suatu deretan beberapa gelombang, masing – masing bisa memiliki tinggi dan periode yang berbeda. Adapun skema gelombang sederhana yaitu :



Gambar 3 Karakteristik Gelombang (Dean dan Dalrymple,2002)

Dimana :

h = kedalaman laut (jarak antara muka air rerata dan dasar laut)

$\eta(x,t)$ = fluktuasi muka air terhadap muka air diam

α = amplitudo gelombang

H = tinggi gelombang = 2α ($\alpha = \frac{1}{2} H$)

L = panjang gelombang (jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan)

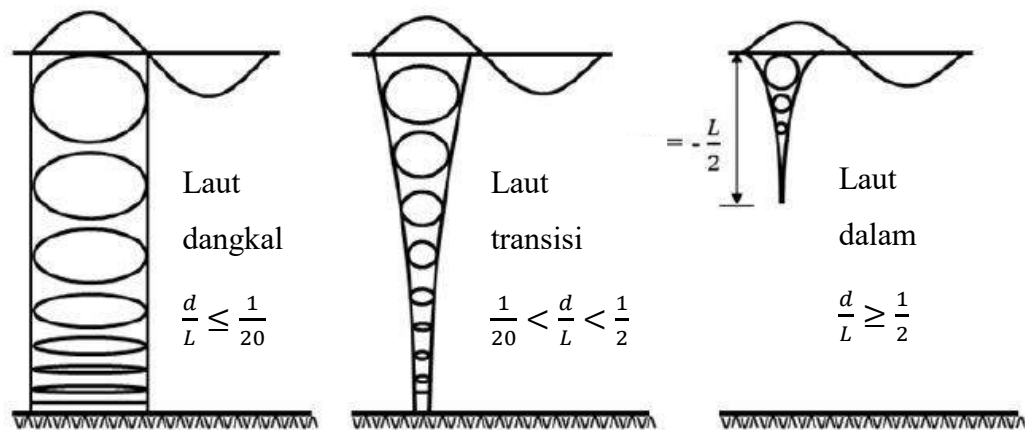
T = periode gelombang (interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya)

C = kecepatan rambat gelombang = L/T

f = frekuensi gelombang = $2\pi/T$

k = angka gelombang = $2\pi/L$

Gelombang menjalar pada arah sumbu x . Tinggi gelombang dinyatakan dengan simbol H , apabila nilai H semakin tinggi, maka semakin tinggi pula gelombang.



Gambar 4 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam (Triatmodjo,1999)

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air h dan panjang gelombang L , (h/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu :

1. Gelombang di laut dangkal apabila $h/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi apabila $1/20 < h/L < 1/2$
3. Gelombang di laut dalam apabila $h/L \geq 1/2$

Berdasarkan kedalamannya, gelombang yang bergerak mendekati pantai dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu gelombang laut dalam dan gelombang permukaan. Gelombang laut dalam adalah gelombang yang dibentuk dan dibangun dari bawah ke permukaan. Sedangkan gelombang permukaan merupakan gelombang yang terjadi antara batas dua media seperti batas air dan udara. Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena pengaruh kedalaman laut. Berkurangnya kedalaman menyebabkan semakin berkurangnya panjang gelombang dan bertambahnya tinggi gelombang. Pada saat kemiringan gelombang (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah. Gelombang yang telah pecah tersebut merambat terus ke arah pantai sampai akhirnya gelombang bergerak naik dan turun pada permukaan pantai (*uprush* dan *downrush*) (Mukhtasor,2014).

2.1.1 Diagram Persebaran Gelombang

Data gelombang digunakan baik untuk bentuk properti statistik ataupun di konversi menjadi model matematis dalam perhitungan kapal dan bangunan lepas pantai. Normalnya, probabilitas dalam kejadian tinggi gelombang signifikan paling diperlukan dalam perhitungan desain teknik. Namun, analisis probabilitas untuk mendeskripsikan kelakuan gelombang laut sangat penting untuk menentukan potensi gelombang laut dan disain konverter energi gelombang yang cocok (Mendes et al,2012). Variasi perairan selama periode waktu tertentu dapat dengan baik di sampaikan dalam bentuk diagram persebaran.

Jumlah setiap bin merepresentasikan kejadian dari setiap kombinasi yang berbeda dari tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang. Interval yang menandai tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang bervariasi sesuai dengan penelitiannya. Beberapa peneliti mengadopsi interval setiap 0,5 meter untuk tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang (Jadidoleslam et al, 2016), 0,5 meter untuk tinggi gelombang signifikan dan 1 detik untuk periode gelombang (Wu

et al, 2015), sedangkan yang lain menggunakan interval 1 meter untuk tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang (Iglesias et al, 2010). Sedangkan Carballo et al (2012), mengadopsi interval 0,5 meter untuk tinggi gelombang signifikan dan 1 detik untuk periode energi berdasarkan power matrix yang dipublikasi oleh masing – masing pengembang WEC (*Wave Energy Converter*). Hs dan T paling dominan dapat diidentifikasi yang kemudian dikembangkan sesuai dengan power gelombang, P. Sebuah diagram menjelaskan seluruh distribusi observasi tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang secara serentak. Sebuah diagram juga dapat menjadi basis untuk menentukan konverter energy gelombang yang cocok di lokasi tertentu dan dapat digunakan bersama power matrik WEC untuk mengestimasi produksi power oleh WEC pada lokasi tersebut.

2.2 Energi Gelombang

Energi gelombang laut merupakan energi alternatif yang cukup menjanjikan dibandingkan dengan sumber daya energi alternatif lain seperti angin dan panas matahari. Energi ini dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap sumber energi fosil yang kian hari semakin berkurang jumlahnya karena memerlukan waktu yang lama untuk bisa menghasilkan energi tersebut (Akbar, 2012). Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena – fenomena sebagai berikut (Pudjanarsa, 2006) :

- Benda (*body*) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah : gempa bumi, dll.
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang – gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Menurut Holthuijsen (2007), energi gelombang dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi oleh gelombang laut permukaan dan terdiri dari dua bentuk energi yaitu energi potensial, $E_{\text{potential}}$, dan energi kinetik, E_{kinetik} . Partikel air dalam gelombang bergerak dari posisi tumpuan sebagai gelombang datang pada permukaan air. Perubahan posisi dari partikel air membutuhkan pekerjaan terhadap gravitasi, dimana di deskripsikan sebagai energi potensial ketika pergerakan orbital dari partikel air di representasi sebagai energi kinetik. Energi gelombang di transportasikan sebagai pergerakan gelombang dan dapat di definisikan dalam istilah kerapatan daya gelombang atau fluks energi gelombang. Total energi per unit area dari gelombang dirumuskan dengan :

$$E = E_{\text{potential}} + E_{\text{kinetik}} = \frac{1}{4} \rho g a^2 + \frac{1}{4} \rho g a^2 = \frac{1}{2} \rho g a^2 \quad (1)$$

Dimana g adalah percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$ dan a adalah amplitudo gelombang.

Dalam kondisi laut yang sebenarnya, gelombang bergerak dalam grup dengan amplitudo, arah dan frekuensi yang berbeda. Oleh sebab itu, laju energi saat disuplai pada lokasi tertentu didefinisikan sebagai laju energi gelombang per area unit dikalikan dengan *group velocity*, C_g , didefinisikan sebagai daya gelombang, P

$$P = E C_g$$

$$C_g = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) c \quad c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd} \quad (2)$$

Dimana c adalah *wave celerity*.

Daya gelombang dapat disederhanakan dan ditulis dalam sebuah istilah dari m^{-1} momen spektral yang di deskripsikan dalam persamaan (3), jika kondisi perairan dalam diasumsikan ($d \geq 0,5 \lambda$), persamaan nya menjadi :

$$P \approx \frac{\rho g}{64 \pi} H_s^2 T_e \quad (3)$$

Dengan rapat massa air laut yang ditentukan sebagai $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ dan percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Maka potensi daya gelombang laut pada satu titik pengamatan dalam satuan kilowatt (kW) per meter panjang puncak gelombang

berbanding lurus dengan setengah dari kuadrat ketinggian signifikan dikali waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut. Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi dari gelombang laut di berbagai tempat di dunia.

$$P = \frac{1}{2} H_s^2 T_e \quad (4)$$

Untuk parameter tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan, yang didefinisikan sebagai rata – rata yang tertinggi dari sepertiga tinggi gelombang dari hasil *zero up crossing* dari lembah ke puncak gelombang. Tinggi gelombang signifikan biasanya dinotasikan $H_{1/3}$ atau H_s (Triatmodjo,1999).

Untuk mendapatkan parameter tinggi gelombang dan periode gelombang umumnya menggunakan momen spektra yang diberikan pada urutan ke – n dengan menggunakan metode statistik gelombang. Hal ini dikarenakan gelombang laut mempunyai bentuk dan arah gerakan tidak beraturan / acak (random) dan tidak pernah berulang urutan kejadiannya, sehingga teori gelombang reguler tidak dapat secara langsung (deterministik) menjelaskannya (Djarmiko, 2012). Sehingga hasil data survei perlu diolah terlebih dahulu sebelum digunakan input tinggi gelombang signifikan.

Dalam perhitungan periode energi (T_e) di definisikan menggunakan istilah dalam momentum spektral dengan persamaan :

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} = \frac{\int_0^{2\pi\infty} \int_0^{2\pi\infty} f^{-1} S(f) df d\theta}{\int_0^{2\pi\infty} \int_0^{2\pi\infty} S(f) df d\theta} \quad (5)$$

Dimana, m_{-1} adalah momentum spektral dari orde -1, m_0 adalah momentum spektral orde 0, f adalah frekuensi, $S(f)$ adalah fungsi spektral densitas dan θ adalah arah penyebaran energi (Dean dan Dalrymple, 1991). Karakteristik dari iklim gelombang dibuat berdasarkan kombinasi dari parameter tinggi gelombang signifikan H_s dan periode puncak T_p atau periode *zero – crossing* T_z . Periode

energi yang ditentukan dari persamaan (3) membutuhkan pengetahuan tentang bentuk spektrum energi. Ketika bentuk spektrum energi tidak diketahui, itu dapat diperkirakan dari beberapa model sebagai contoh, spektrum *Pierson – Moskowitz*. Perkiraan ini digunakan dalam elaborasi *Marine Atlas of Renewable Resources in UK* (ABP, 2004). Perkiraan lainnya yang sering digunakan untuk T_e yaitu di representasikan dengan $T_e \approx \alpha T_p$, dimana α adalah parameter empiris. Untuk spektrum *Pierson – Moskowitz*, $\alpha = 0,86$ (Dean dan Dalrymple, 1991). Sehingga perkiraan yang digunakan adalah $T_e = T_p$ dan perkiraan ini sangat cocok untuk analisis awal potensi energi gelombang.

Satelit altimetri tidak dapat mengukur secara langsung periode gelombang tersebut. Para peneliti numerik mengusulkan algoritma – algoritma untuk perhitungan periode gelombang satelit altimetri sesuai tinggi gelombang signifikan (H_s), kecepatan angin (U) dan koefisien backscatter (σ_0). Davies et al (1997), mengusulkan algoritma empiris pertama untuk menghitung periode gelombang dari altimetri :

$$T_z = 3.6231 + 0.0754T_a + 0.1943\xi_a - 0.0188T_a^2 + 0.0000\xi_a^2 + 0.1991T_a\xi_a \quad (6)$$

Algoritma tersebut memasukkan parameter *dimensionless pseudo – wave* yang dikembangkan oleh Fu et al (1991), untuk meningkatkan perkiraan periode gelombang dengan akurasi yang lebih baik daripada 1s.

$$\xi_a = 2.56 \left(\frac{H_s^2 g^2}{U_{10}^4} \right)^{0.3} \quad (7)$$

Dimana T_z adalah periode *zero – crossing*, T_a adalah periode altimetri, H_s adalah tinggi gelombang signifikan dan U_{10} merepresentasikan kecepatan angin pada ketinggian 10 meter diatas permukaan laut, g adalah kecepatan gravitasi = 9,81 m/s.

Hwang et al (1998), mengusulkan algoritma empiris lainnya, dengan periode puncak T_p berhubungan dengan kecepatan angin U_{10} dan tinggi gelombang H melalui persamaan berikut :

$$\frac{U_{10}}{gT_p} = 0.048 \left(\frac{U_{10}^2}{gH} \right)^{0.67} \quad (8)$$

Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa periode gelombang yang diperoleh dari tinggi gelombang altimetri Topex/Poseidon dan data kecepatan angin menggunakan algoritma ini yaitu sedikit dibawah periode puncak pengukuran buoy dengan 6%.

Gommenginger et al (2003), menunjukkan kelemahan dari dua algoritma sebelumnya dalam keterbatasan kondisi lingkungan dalam hal validasi data. Hwang et al (1998), membatasi data yang digunakan untuk mengembangkan algoritma sebelumnya (8) hanya untuk perairan Gulf of Mexico sedangkan algoritma (6) dikembangkan berdasarkan data gelombang jangka pendek (data altimetri dua tahun). Dengan demikian, Gommenginger et al (2003), mengembangkan algoritma empiris lain yang simpel berdasarkan argumen *heuristic* menggunakan data yang besar untuk altimetri Topex didapatkan dari spektra gelombang laut.

$$T_z = -0.895 + 2.545(\sigma_{01}H_s^2)^{0.25} \quad (9)$$

Dimana σ_{01} adalah Ku – band radar altimetri backscatter di dalam linear.

Quilfen et al (2004), menggunakan pendekatan data adaptif dari *neural networks* (NN) yang berhubungan dengan H_s dan σ_0 altimetri ke T_z buoy. Mereka mengusulkan dua algoritma berdasarkan pendekatan tersebut, dengan algoritma pertama dikembangkan menggunakan data Ku – band :

$$T_z = \exp(-17.1642a + 13.5844) \quad a = [1 + \exp(0.6573H_s^{0.1084}\sigma_{0Ku}^{0.2962} - 2.2377)] \quad (10)$$

Algoritma kedua yang dihasilkan menggunakan kombinasi band Ku dan band C yaitu :

$$T_z = \exp(5.7474 - 1.4688a + 1.7943b) \quad (11)$$

$$a = \frac{\sigma_{0Ku}^{0.3082}}{\sigma_{0C}^{0.2352}H_s^{0.0981}} e^{1.5068b} \quad b = 2/(1 + e^{-1.8612-0.08U_{10}}) - 1.$$

Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan *neural network* menunjukkan keunggulannya jika dibandingkn dengan metode empiris.

Kshatriya et al (2005), menggunakan konsep yang diterapkan Fu et al (1991) dalam mengestimasi periode gelombang laut dari pengukuran koefisien backscatter dan

tinggi gelombang signifikan altimetri TOPEX/ Poseidon di perairan samudera Hindia. Sebuah algoritma telah dikembangkan dengan menggunakan dua parameter; periode gelombang altimetri T_a dan *pseudo wave age* ξ dan dapat diekspresikan melalui persamaan berikut :

$$T_z = -0.1130 + 0.6090\xi + 2.4369T_a - 0.0045\xi T_a - 0.0487\xi^2 - 0.2270T_a^2 \quad (12)$$

Dimana T_a direpresentasikan dengan :

$$T_a = (\pi^2/g)^{1/2} \{H_s \sigma^{o1/2} / |R(0)|\}^{1/2} \quad (13)$$

Sedangkan *pseudo wave age*, ξ dapat diekspresikan menggunakan persamaan :

$$\xi = 3.25(H_s^2 g^2 / U^4)^{0.31} \quad (14)$$

$|R(0)|$ adalah koefisien refleksi Fresnel dalam frekuensi ban altimetri. Hasilnya menunjukkan akurasi yang lebih bagus untuk periode gelombang dengan 0,6 detik, dibandingkan dengan 1,3 detik yang didapat dari pendekatan persamaan semi empiris sebelumnya.

Mackay et al (2008), mengusulkan algoritma baru untuk periode gelombang altimetri berdasarkan pada H_s , σ_0 altimetri dan periode gelombang buoy. Algoritma yang di usulkan sesuai untuk GEOSAT Follow – on (GFO), ERS – 2, Topex, Poseidon, Jason – 1, dan Envisat. Hasil tersebut di bandingkan dengan algoritma (9) dan (Quilfen,2004) yang kemudian diteliti dalam beberapa parameter statistika dan kemampuan untuk mereplika distribusi gabungan dari tinggi gelombang dan periodenya. Algoritma nya yaitu :

$$T = \begin{cases} \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma_0 - A}{H_s + \gamma} \right) \right] & \text{if } \sigma_0 \leq \delta \\ \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\delta - A}{H_s + \gamma} \right) \right] & \text{if } \sigma_0 > \delta \end{cases} \quad (15)$$

Kelima parameter A, α, β, γ , dan δ diperoleh dari metode yang pas yaitu metode *simplex search*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa algoritma baru lebih baik

jika dibandingkan dengan algoritma sebelumnya dalam pertimbangan semua matrik.

Govindan et al (2011), mengadaptasi pendekatan data adaptif lainnya yaitu *genetic algorithm* (GA) untuk mengestimasi periode gelombang dari parameter observasi altimetri. Dalam penelitian ini mengusulkan dua *genetic algorithm* (GA1 dan GA2) dengan memasukkan parameter *pseudo wave age*.

$$GA - 1: T_z = (((wh + (((wh/(ws/8.01)) - ws)/4.38) + 5.09)))/ws) * ws)$$

$$GA - 2: T_z = (((\xi - (5.78))/(\xi + (ws/(wh * ((ws/wh) + wh))))) + (wh + (5.70))) \quad (16)$$

Dimana T_z adalah periode gelombang, wh dan ws adalah tinggi gelombang dan kecepatan angin. ξ adalah parameter “*pseudo wave age*” yang didapat melalui persamaan (11). Algoritma tersebut menunjukkan sedikit kelebihan jika dibandingkan dengan *neural network* yang dikembangkan oleh Quilfen, et al (2004). Mereka juga mengetahui bahwa parameter *wave age* ξ memiliki dampak yang signifikan dalam mengestimasi periode gelombang dan mengurangi *Root Mean Square Error* (RMSE).

Menurut Hashim et al (2016), dari berbagai algoritma yang diusulkan maka terpilih suatu algoritma yang telah dibandingkan dengan periode gelombang yang diukur oleh buoy dimana didapat nilai tertinggi untuk koefisien korelasi (R), dan minimum *mean absolute error* (MAE).

$$T_z = 1.299a - 1.127$$

$$a = 2.247 + \frac{4.947 + 25.399 H_s}{7.562 + H_s + U} \quad (17)$$

Berdasarkan kesepakatan para pakar di Indonesia, potensi energi laut dibagi kedalam beberapa kategori dengan mengadopsi kategori yang telah digunakan di Irlandia (*Marine Institute and Sustainable Energy Ireland*, 2005) yaitu :

- *Theoretical Resources* : Kandungan energi bruto dari *resource*.

- *Technical Resources* : Sumber daya teoritis dibatasi oleh efisiensi dari teknologi yang tersedia.
- *Practical Resources* : Sumber daya teknis dibatasi oleh faktor fisik yang tidak kompatibel.
- *Accessible Resources* : Sumber daya praktis dibatasi oleh kendala kelembagaan dan regulasi.
- *Viable Accessible Resources* : Sumber daya dibatasi oleh kelayakan ekonomi.

2.2.1 Potensi Teoritis

Perhitungan besaran potensi energi melibatkan pendekatan perhitungan yang mendetail, mencakup pengumpulan dan interpretasi data, dan kemudian menggunakan data tersebut untuk perhitungan dengan metode tertentu untuk menghasilkan nilai besaran potensi energi tertentu. Perhitungan potensi energi laut menggunakan bantuan permodelan, yang merepresentasikan fenomena fisika di laut ke dalam persamaan atau rumus – rumus matematika dan statistika.

2.2.2 Potensi Teknis

Potensi teknis dihitung dari nilai potensi teoritis yang dibatasi oleh status teknologi energi laut yang ada saat ini. Sumber daya teoritis dibatasi oleh efisiensi dari alat teknologi yang tersedia, serta ketersediaan struktur penyangga, baik tiang pancang maupun sistem tambatan. Hal ini tergantung jenis teknologi energi yang tersedia di dunia internasional.

2.2.3 Potensi Praktis

Potensi praktis adalah potensi teknis yang dibatasi oleh keadaan fisik, misalnya kondisi gelombang yang sangat ekstrim, kedalaman perairan yang curam (palung), kawasan latihan militer, jalur lalu lintas kapal, jalur pipa migas bawah laut, jalur transmisi listrik, atau tempat pembuangan limbah. Dengan demikian, ketika menghitung teoritis telah dikoreksi dengan batasan teknologi, kini hasilnya dikoreksi lagi dengan batasan keadaan fisik. Maka, meskipun secara teoritis dan teknis telah memenuhi syarat sebagai lokasi berpotensi, misalnya, tetapi jika di

lokasi itu adalah lokasi latihan militer maka lokasi itu tidak didaftarkan sebagai lokasi yang potensial menghasilkan energi listrik secara praktis.

2.2.4 Potensi Terakses

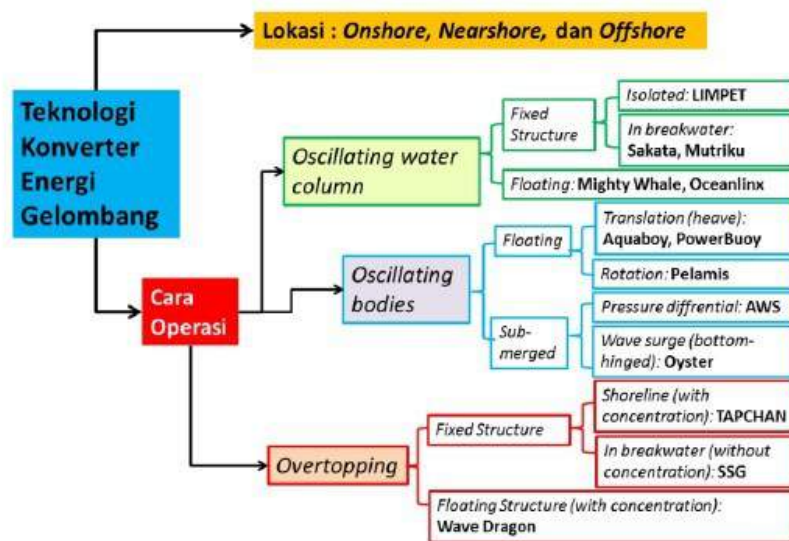
Potensi terakses dihitung dengan melakukan pembatasan terhadap potensi praktis. Lokasi yang telah dinyatakan memiliki potensi praktis tidak selalu dapat dibangun pembangkit listrik di lokasi tersebut. Pada kenyataannya di lapangan dapat dijumpai kendala kelembagaan dan regulasi (peraturan), termasuk batasan lingkungan, seperti konservasi dan tata ruang. Lokasi dialokasikan untuk terumbu karang, budidaya organisme laut, budaya, pariwisata juga merupakan faktor pembatas yang dipertimbangkan.

2.2.5 Potensi Layak Dikembangkan

Potensi energi layak dikembangkan pada dasarnya sama dengan potensi viabel, yaitu potensi energi laut terakses yang dibatasi oleh faktor komersial seperti biaya, skala, jaringan *grid* listrik, dan distribusi potensi atau sumberdaya dari lokasi energi laut. Untuk konteks Indonesia, juga keberadaan penduduk dan jumlah permintaan energi listrik. Untuk menentukan potensi energi layak dikembangkan, suatu persamaan ekonomi harus dibuat untuk memperhitungkan biaya pada setiap lokasi teridentifikasi.

2.3 Teknologi Energi Gelombang

Menurut Mukhtasor (2014), prinsip teknologi yang mengubah energi kinetic gelombang laut menjadi energi listrik adalah dengan menyerap dan mengakumulasi energi gelombang laut agar dapat menghasilkan listrik dari generator. Ada banyak konsep teknologi konversi energi gelombang laut. Ada lebih dari 1000 teknik konversi energi gelombang yang telah dipatenkan di Jepang, Amerika Utara, dan Eropa. Variasi desain dan konsepnya sangat banyak, teknologi konversi energi gelombang secara umum dapat dikategorikan berdasarkan lokasi dan jenisnya. Hal ini bermula dari perbedaan cara bagaimana energi diserap dari gelombang, dan juga tergantung pada kedalaman air dan lokasi, misalnya berada di pantai (*onshore*), dekat pantai (*near shore*), dan lepas pantai (*offshore*).



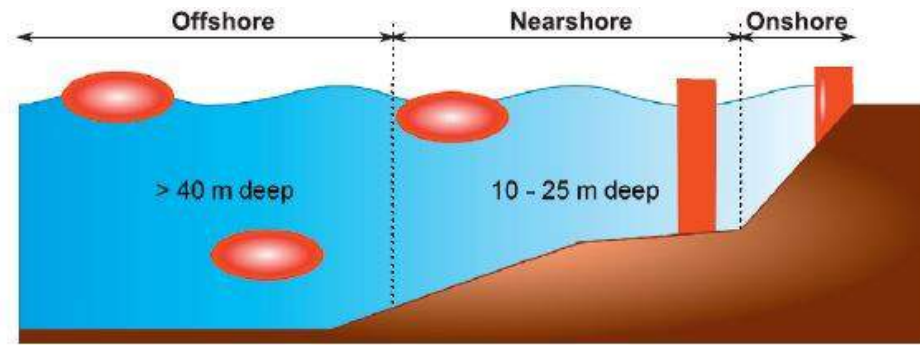
Gambar 5. Skema karakter penangkapan energi gelombang laut (Drew, 2009)

Fasilitas energi gelombang yang berada di pantai (*on shore*) memiliki keuntungan yakni mudah untuk perawatannya, dan terhindar dari kondisi ekstrem (badai). Namun, alat yang dibangun di dekat pantai akan menghasilkan tenaga listrik yang rendah pula.

Alat energi gelombang yang berada di laut dekat pantai (*near shore*) juga termasuk dalam perairan yang dangkal (walaupun tidak ada definisi spesifik mengenai perairan dangkal, tapi perairan dangkal bisa diartikan perairan yang berkedalaman sekitar kurang dari seperempat panjang gelombang). Peralatan yang berada di dekat pantai sering kali terhubung dengan dasar laut yang sesuai dengan jenis alat energi gelombang yang berosilasi. Seperti halnya, fasilitas yang berada di pantai, kerugiannya adalah perairan dangkal akan sedikit menghasilkan tenaga listrik dan mengurangi pemanfaatan potensi energi yang ada.

Fasilitas peralatan yang berada di lepas pantai (*offshore*) umumnya berada di perairan yang dalam. Keuntungan dari penempatan alat energi gelombang di perairan dalam yaitu bisa memanfaatkan potensi energi jauh lebih besar. Namun, Konstruksi dan perawatan alat energi gelombang yang berada di lepas pantai jauh lebih sulit akibat tinggi gelombang yang lebih tinggi dan kandungan energi dalam gelombang yang lebih besar, sehingga membutuhkan desain dan konsep yang mampu bertahan menghadapi kondisi ekstrem yang berdampak terhadap semakin

bertambahnya biaya konstruksi pula. Bagaimana pun juga, semakin besar gelombang akan memberikan keuntungan secara ekonomi yang lebih besar juga.



Gambar 6 Lokasi konverter energi gelombang (Lopez, et al, 2013)

Menurut Lopez, I., et al (2013), berdasarkan fungsi jarak dari pantai terdapat tiga jenis konverter : onshore, nearshore dan offshore. Aspek terpenting setiap jenis ini adalah :

1. Peralatan Onshore : Jenis konverter ini terletak di pantai dan dapat di letakkan di atas perairan (perairan dangkal), berintegrasi dalam breakwater, dam, atau fix pada tebing. Keuntungan utama dari jenis konverter ini adalah mudah dalam perawatan dan instalasi karena dalam banyak kasus lokasinya mudah di jangkau.
2. Peralatan Nearshore : Jenis konverter ini terpasang beberapa meter dari pantai di perairan dengan kedalaman sedang (10 – 25 m). Konverter ini biasanya terletak di dasar laut (seabed) tetapi struktur harus menahan stress yang muncul ketika gelombang melewati konverter tersebut.
3. Peralatan Offshore : Jenis konverter ini terletak di perairan dalam (lebih dari 40 m), jauh dari pantai, dan struktur dibuat untuk mengapung atau tercelup yang dimooring pada dasar laut. Karena lokasinya, mereka memungkinkan untuk memanfaatkan besarnya energi gelombang dari laut terbuka. Tetapi, di arah yang sama, karena laut terbuka, ketahanan dan kekuatan dari alat menjadi masalah besar, dan struktur mereka harus menahan beban yang besar.

Menurut IRENA (2014), terdapat klasifikasi alat konverter energi gelombang berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu :

1. *Oscillating Water Columns* (OWC) : merupakan alat konverter dengan bilik sebagian tenggelam, menjaga udara yang terperangkap diatas kolom air. Gelombang mengakibatkan kolom air bergerak seperti sebuah piston, bergerak keatas dan kebawah dan dengan demikian memaksa udara keluar dari bilik dan kembali lagi. Pergerakan yang terus menerus ini membangkitkan aliran udara dengan kecepatan tinggi, dimana ini tersambung dengan baling rotor yang memutar turbin – generator udara untuk menghasilkan listrik. Keuntungan utama dari sistem ini adalah kesederhanaan nya (pada dasarnya tidak ada bagian yang bergerak kecuali turbin anginnya) dan faktanya alat ini biasanya dapat diandalkan. Sebaliknya, tingkat performanya tidak begitu tinggi, meskipun terdapat strategi kontrol baru dan konsep turbin dalam pengembangan, dimana itu dapat meningkatkan performa power nya. Sebuah generasi baru dari OWC yang mengapung berintegrasi pada *spar – buoys* yang dapat meningkatkan performa power nya. Beberapa alat yang representatif yaitu : *GreenWave* (Scotland/ UK); *Mutriku* (Spanyol); *Ocean Energy Buoy* (Irlandia); *Oceanix* (Australia); *Pico Plant* (Azores/Portugal); dan *Wavegen Limpet* (Scotland/ UK).
2. *Oscillating Body Converters* : merupakan jenis konverter yang terapung (biasanya) atau tenggelam (terkadang menempel di dasar laut). Konverter ini mengeksploitasi energi gelombang yang lebih kuat yang biasanya terjadi di laut dalam di mana kedalaman lebih besar dari 40 meter (m). Secara umum, mereka lebih kompleks daripada OWC, khususnya dalam hal sistem *Power Take Off* (PTO) mereka. Pada kenyataannya, banyak konsep – konsep yang berbeda dan cara untuk mengubah gerakan berosilasi menjadi listrik telah melahirkan berbagai sistem PTO, misalnya generator hidrolik dengan aktuator hidrolik linier, generator listrik linier, pompa piston, dll. Keuntungan dari konverter ini termasuk ukuran dan fleksibilitas mereka karena kebanyakan dari mereka merupakan peralatan yang mengapung.






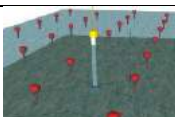


Teknologi berbeda belum muncul dan penelitian lebih lanjut, untuk meningkatkan kinerja PTO dan menghindari isu – isu tertentu dengan sistem tambat yang perlu dilakukan.


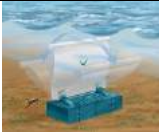




3. *Overtopping converters (terminator)* : merupakan jenis konverter yang terdiri dari konverter terapung atau struktur yang menempel pada dasar laut, yang memastikan ketika gelombang tiba, mereka mengalir di atas struktur dan akan ditahan di perangkat reservoir. Energi potensial, karena ketinggian air yang dikumpulkan di atas permukaan laut, berubah menjadi listrik yang menggunakan turbin hidro konvensional (sama dengan yang digunakan dalam pembangkit mini hidro). Keuntungan utama dari sistem ini adalah konsep yang sederhana – menyimpan air dan ketika cukup banyak, membiarkannya melewati turbin. Kerugian utama yang termasuk *low head* (dalam 1 – 2 m) dan dimensi penuh skala besar perangkat *overtopping* tersebut.

Menurut Falcao (2010) menjelaskan bahwa terdapat beberapa sistem *Power Take – Off* (PTO) yang berbeda yang dapat digunakan untuk mengubah energi gelombang menjadi listrik; turbin, sistem hidrolik, generator linier serta sistem mekanik penuh. *Oscillating Water Column* (OWC) menggunakan turbin air (sistem pneumatik) untuk mengkonversi gerakan gelombang menjadi listrik, sementara konverter jenis *Oscillating Bodies* dan *Overtopping* biasanya menggunakan berbagai sistem hidrolik PTO ataupun turbin. Sistem PTO harus diadaptasi untuk digunakan dalam *Wave Energy Converter* (WEC), sebagai aliran energi yang disediakan oleh energi gelombang acak dan sangat bervariasi untuk setiap gelombang, setiap hari dan setiap musim. Sebagai akibatnya, turbin air hanya dapat mencapai efisiensi 50 – 60 %, sementara turbin hidrolik dapat mencapai efisiensi dari 70 – 90%. Selain itu, tekanan tinggi pada motor hidrolik sedang dieksplorasi yang meliputi sistem akumulator gas yang mampu menyimpan energi atas beberapa periode gelombang, mengurangi keluaran yang bermacam – macam yang disebabkan oleh energi gelombang. Kemajuan teknologi lain dalam sistem PTO termasuk multi turbin rotor, dan pengaturan dalam sudut baling – baling disesuaikan untuk meningkatkan efisiensi dalam

sebuah sistem PTO tersebut. Pada tabel 1, terdapat beberapa contoh teknologi energi gelombang laut di dunia sesuai dengan prinsip kerja yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 1. Teknologi energi gelombang di dunia

Jenis Teknologi	Nama	Rated power (kW)	Kedalaman yang dibutuhkan (m)	Effisiensi (%)	Gambar	Referensi
<i>Oscillating Water Column (OWC)</i>	LEANCON	4600	40	80		Nielsen et al, 2015
	Mutriku	18,5	5	63		Enciso, Y.T., et al (2009)
	Ocean Energy	500	50	70		Ocean energy (2017)
	AquaWave	1000	10 – 15	60		AquanetPower(2017)
	WavePiston	285	25	80		Wavepiston (2017)
<i>Oscillating Bodies</i>	Ocean Harvesting Technology	10000	100	80		OHT (2015)
	Aqua Buoy	250	45 - 76	90		Weinstein et al (2004)
	Pelamis	750	50 – 60	90		Pelamis (2017)

Jenis Teknologi	Nama	Rated power (kW)	Kedalaman yang dibutuhkan (m)	Effisiensi (%)	Gambar	Referensi
<i>Oscillating Bodies</i>	RM5 Oswec	360	50 - 100	82		Yu, et al (2015)
	Wave Roller	500 – 1000	8 – 20	30		AW-Energy (2012)
	Oyster	315	10 - 15	25		Cameron, L., et al (2010)
	Wello Oy	600	40 – 50	90		Wello (2017)
<i>Overtopping</i>	Wave Dragon	4000	20 – 40	80		Nielsen et al, 2015
	Wave Cat	71	50 – 100	75		Sampanis, K., et al (2016)

Berdasarkan informasi yang terdapat pada Tabel 1, nantinya beberapa jenis teknologi konverter energi gelombang tersebut akan digunakan dalam bagian pembahasan. Sehingga dapat digunakan untuk menentukan potensi energi gelombang secara teknis yang berdasarkan parameter teknologi konverter energi gelombang yang ada di dunia.

2.4 Altimetri

Satelit altimetri merupakan satelit yang terbukti baik dan memiliki teknik yang matang untuk mengamati ketinggian permukaan laut (*sea surface height*) dengan akurasi beberapa sentimeter diatas lautan terbuka. Perekaman efektif satelit altimetry dikendalikan oleh durasi pulsa dan lebar jendela analisis, dan bias antara 2 dan 7 kilometer, tergantung pada keadaan laut. Sistem klasik seperti ini sering disebut altimetri konvensional (Chelton et al., 2001).

Satelit altimetri menggunakan dua arah pada saat sebuah pulsa dipancarkan oleh sebuah antena yang terpasang dan bayangannya dari permukaan bumi untuk menghitung jarak antara satelit dan permukaan bumi, disebut *range* (Fu dan Cazenave, 2001). Ketinggian satelit dengan sebuah referensi ellipsoid terbukti keakuratannya dari model orbitografi. Dengan pengaplikasian sesuai faktor koreksi untuk penyebaran gelombang elektromagnetik terhadap interaksinya dengan atmosfer dan kesatuan geofisika, ketinggian dari refleksi permukaan air dengan referensi sebuah ellipsoid atau geoid dapat di estimasi (Baup et al, 2014).

Menurut Handoko (2004), bahwa satelit altimetri mulai berkembang sejak tahun 1973, saat diluncurkannya Satelit Altimetri yang pertama yaitu Satelit Skylab oleh NASA. Satelit altimetri pada prinsipnya mempunyai tujuan untuk memahami secara lebih mendalam sistem iklim global serta peran yang dimainkan oleh lautan di dalamnya, yang kemudian dijabarkan sebagai berikut :

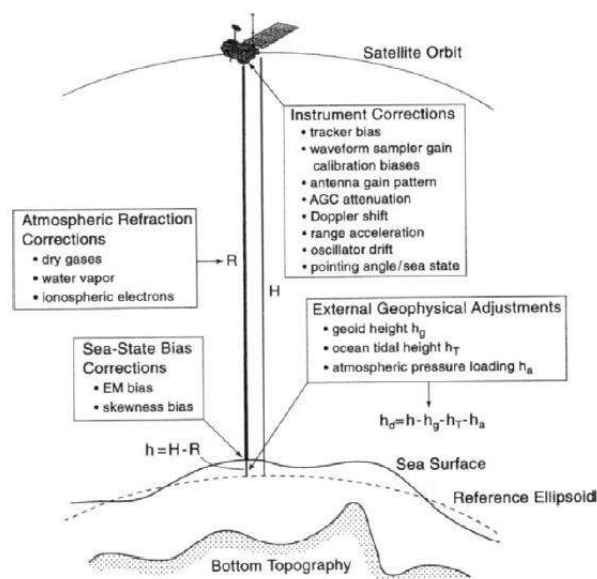
- Mengamati sirkulasi lautan secara global.
- Memantau volume dari lempengan es kutub.
- Mengamati perubahan muka laut rata – rata secara global.

Dengan kemampuannya untuk mengamati topografi dan dinamika dari permukaan laut secara kontinyu, maka satelit altimetri tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan perubahan muka laut rata – rata (*mean sea level*) secara global, tetapi juga akan bermanfaat untuk beberapa aplikasi geodetic dan oseanografi lainnya seperti :

- Penentuan topografi permukaan laut (*Sea Surface Topographic*).

- Penentuan topografi permukaan es.
- Penentuan geoid di wilayah lautan.
- Penentuan karakteristik arus dan *eddies*.
- Penentuan tinggi dan panjang gelombang.
- Studi pasang surut di lepas pantai.
- Penentuan kecepatan angin di atas permukaan laut.
- Penentuan batas wilayah laut dan es.
- Studi fenomena *El nino*.
- Unifikasi datum tinggi antar pulau.

Satelit altimetri memproduksi beberapa parameter seperti tinggi gelombang signifikan, kecepatan angin, tinggi muka air laut, konten elektron total, anomali muka air laut, konten uap air, dan data geofisika lainnya dari bentuk pulsa yang kembali. Sebuah teknik disebut pemampatan pulsa digunakan untuk mentransmisi pulsa radar energi dan menginterpretasi sinyal datang (Fu dan Cazenave, 2000).



Gambar 7 Skema koreksi pada satelit Altimetri (Fu dan Cazenave, 2000)

Menurut Cipolli et al (2015), untuk pengukuran tinggi gelombang signifikan yang dilakukan oleh satelit altimetri, terdapat sebuah algoritma yang digunakan berdasarkan luas area yang terekam oleh satelit tersebut.

$$A_{\text{eff}} = \frac{\pi R_0 (c\tau + 2H_s)}{1 + R_0/R_E} \quad (18)$$

Dimana :

A_{eff} = area yang terekam

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

τ = panjang pulsa (km)

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

R_0 = ketinggian satelit (km)

R_E = radius bumi (6.371 km)

2.5 Bathimetri

Bathimetri adalah gambaran profil kedalaman air laut pada suatu lokasi, yang dalam prakteknya seringkali direpresentasikan dalam bentuk peta. Peta profil kedalaman air laut dapat memberi gambaran profil morfologi dasar laut. Peta bathimetri atau peta morfologi dasar laut memiliki banyak manfaat, antara lain penentuan jalur pelayaran yang aman, perencanaan bangunan pinggir pantai dan lepas pantai – termasuk perencanaan bangunan energi laut – , pendeteksian adanya potensi bencana tsunami di suatu wilayah, dan pelaksanaan pembangunan di laut seperti pembangunan anjungan minyak lepas pantai atau struktur penyangga pembangkit listrik energi laut (Mukhtasor,2014).

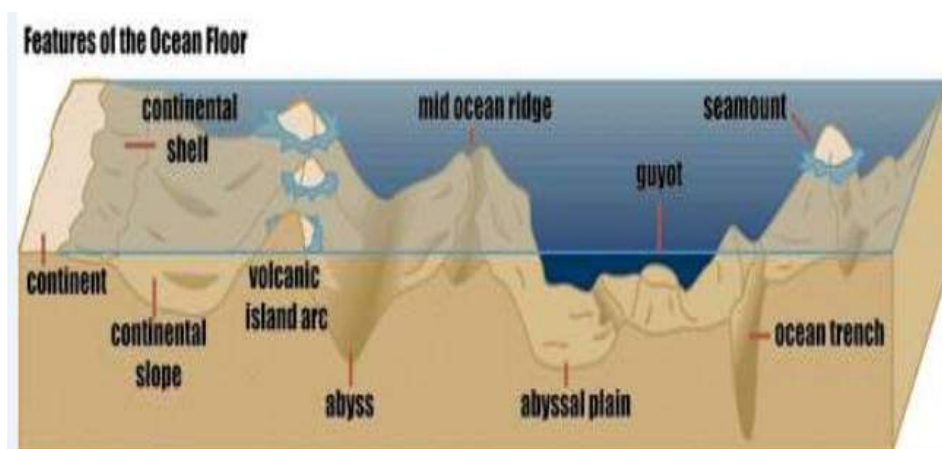
Morfologi atau bentuk muka bumi di dasar laut cukup kompleks seperti halnya daratan. Morfologi dasar laut dapat digolongkan berdasarkan bentuk permukaan dan kedalamannya. Menurut Ross et all (1970), morfologi dasar laut dibedakan dengan beberapa istilah sebagai berikut :

- *Ridge* dan *rise* merupakan suatu proses peninggian yang terdapat di atas dasar lautan (*sea floor*), hampir serupa dengan gunung – gunung di daratan. *Ridge* lerengnya lebih terjal daripada *rise*.

- *Trench* adalah bagian laut yang terdalam, disebut juga sebagai palung yang sempit dengan sisi yang curam.
- *Basin* yaitu depresi atau cekungan yang berbentuk bulat dan lonjong.
- *Island arc* merupakan kumpulan pulau – pulau seperti kepulauan Indonesia yang mempunyai perbatasan dengan benua, tetapi memiliki asal yang berbeda.
- *Mid oceanic volcanic island* merupakan pulau – pulau vulkanik yang terdapat di tengah – tengah lautan.
- *Atoll* merupakan pulau – pulau yang sebagian atau keseluruhannya tenggelam di bawah permukaan air. Batuan yang terdapat di daerah ini umumnya didominasi oleh terumbu karang mati maupun hidup yang berbentuk seperti cincin mengelilingi dan sebuah *lagoon*.
- *Seamount* dan *guyot* merupakan gunung – gunung berapi yang muncul dari dasar lautan, tetapi puncaknya tidak sampai ke permukaan.

Secara umum, kontinen dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu :

- *Continental shelf* (landasan benua) ialah daerah yang mempunyai lereng landau dan berbatasan langsung dengan daratan.
- *Continental slope* (lereng benua) memiliki lereng yang lebih terjal daripada *continental shelf*.
- *Continental rise* merupakan daerah yang mempunyai lereng yang kemudian perlahan – lahan menjadi datar pada dasar lautan.



Gambar 8. Bentuk relief dasar laut (Ross et al,1970)

2.6 Sistem Informasi Geografis

Secara Umum pengertian SIG adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Hartoyo *et al*,2010).

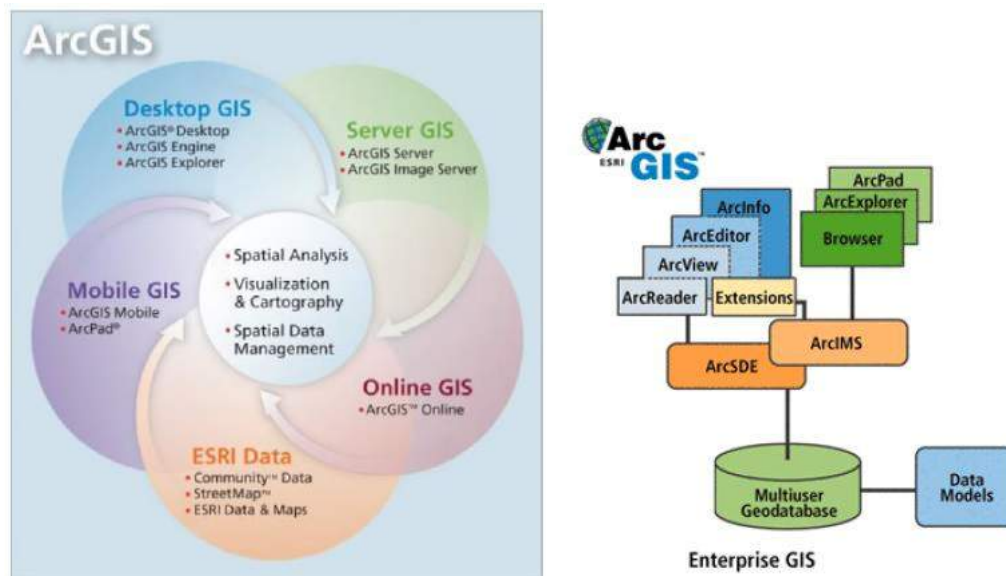
Menurut John and Anderson (2003), secara rinci SIG tersebut dapat beroperasi dengan komponen – komponen sebagai berikut :

1. Pengguna (*User*) : yang menjalankan system
2. Aplikasi : prosedur yang digunakan untuk mengolah data
3. Data : informasi yang dibutuhkan dan diolah dalam aplikasi
4. Software : perangkat lunak SIG berupa program – program aplikasi
5. Hardware : perangkat keras yang dibutuhkan untuk menjalankan system berupa perangkat komputer, printer, scanner dan perangkat pendukung lainnya.

SIG dapat melakukan analisis dan penyajian data keruangan (spasial) berbasis geografis. Proses interpolasi data spasial yang berbasis geografis dapat juga dilakukan menggunakan aplikasi SIG. Salah satu metode interpolasi dalam SIG adalah metode IDW dan metode kriging. Metode kriging merupakan estimasi stochastic yang mirip dengan IDW (*Inverse Distance Weight*), menggunakan kombinasi linear dari weights untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh D.L. Krige untuk memperkirakan nilai dari bahan tambang. Asumsi dari model ini adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial. Model ini memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Metode ini juga menggunakan semivariogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai di antara semua pasangan sampel data (ESRI,1996). Sedangkan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang

lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Pemilihan nilai pada *power* sangat mempengaruhi hasil interpolasi. Nilai *power* yang tinggi akan memberikan hasil seperti menggunakan interpolasi nearest neighbor dimana nilai yang didapatkan merupakan nilai dari data point terdekat (Watson dan Philip, 1985).

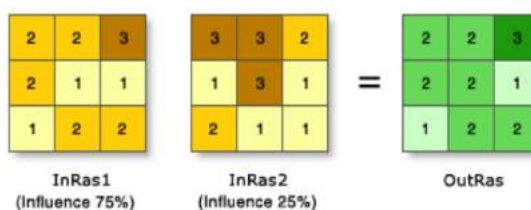
ArcGIS adalah salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh ESRI (*Environment Science & Research Institute*) yang merupakan kompilasi fungsi – fungsi dari berbagai macam perangkat lunak SIG yang berbeda seperti SIG *desktop*, *server*, dan SIG berbasis web. Perangkat lunak ini mulai dirilis oleh ESRI pada tahun 2000. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS *desktop*, dimana ArcGIS *desktop* merupakan perangkat lunak profesional yang komprehensif dan dikelompokkan atas tiga komponen yaitu : ArcView (komponen yang fokus ke penggunaan data yang komprehensif, pemetaan dan analisis), ArcEditor (lebih fokus ke arah editing data spasial) dan ArcInfo (lebih lengkap dalam menyajikan fungsi – fungsi SIG termasuk untuk keperluan analisis geoprocessing) (Raharjo,2015).



Gambar 9 Prosedur dan bagian - bagian dari ArcGIS (ESRI,2016)

Overlay merupakan salah satu tools yang dapat digunakan dalam menentukan bagaimana skor suatu aspek jika dipengaruhi oleh aspek – aspek yang

lain. Dalam hal ini metode yang baik dalam menentukan bagaimana pengaruh suatu variabel terhadap variabel yang menjadi objek pengukuran adalah dengan menggunakan bobot dan skoring. Pada aplikasi ArcMap terdapat tools yang dapat mengakomodasi keperluan seperti ini yaitu *Weighted Overlay*. Metode ini dalam contoh penggunaan nya yaitu dengan memasukkan dua data raster yang telah di klasifikasikan berdasarkan pengukuran umum dengan jarak 1 hingga 3. Setiap raster memiliki sebuah skala persentase berdasarkan kepentingan atau pengaruhnya. Nilai sebuah kelas dikalikan berdasarkan skala persentase, dan hasilnya ditambahkan bersamaan dengan yang lain untuk membuah sebuah hasil raster baru. Sebagai contoh, berdasarkan nilai pada kelas atas sebelah kiri. Nilai dari masukan ($2 * 0,75$) = 1,5 dan ($3 * 0,25$) = 0,75. Jumlah dari 1,5 dan 0,75 adalah 2,25. Dikarenakan hasil raster dari *Weighted Overlay* adalah sebuah bilangan bulat, maka hasil akhirnya yaitu berkisar angka 2 (ESRI, 2016).



Gambar 10 Contoh metode *Weighted Overlay*

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan tesis ini. Serta diagram alir pengerjaan dalam pemetaan energi gelombang laut di perairan Indonesia. Berikut merupakan titik – titik observasi satelit altimetri dan *European Centre for Medium – Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang ditampilkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Dimana untuk satelit altimetri menggunakan resolusi $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ yang artinya jika di konversi dalam satuan jarak maka akan bermakna setiap 111 kilometer terdapat sebuah titik observasi. Sedangkan untuk ECMWF menggunakan resolusi $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$ yang artinya adalah setiap 14 kilometer terdapat sebuah titik observasi.



Gambar 11. Titik – titik Observasi satelit Altimetri

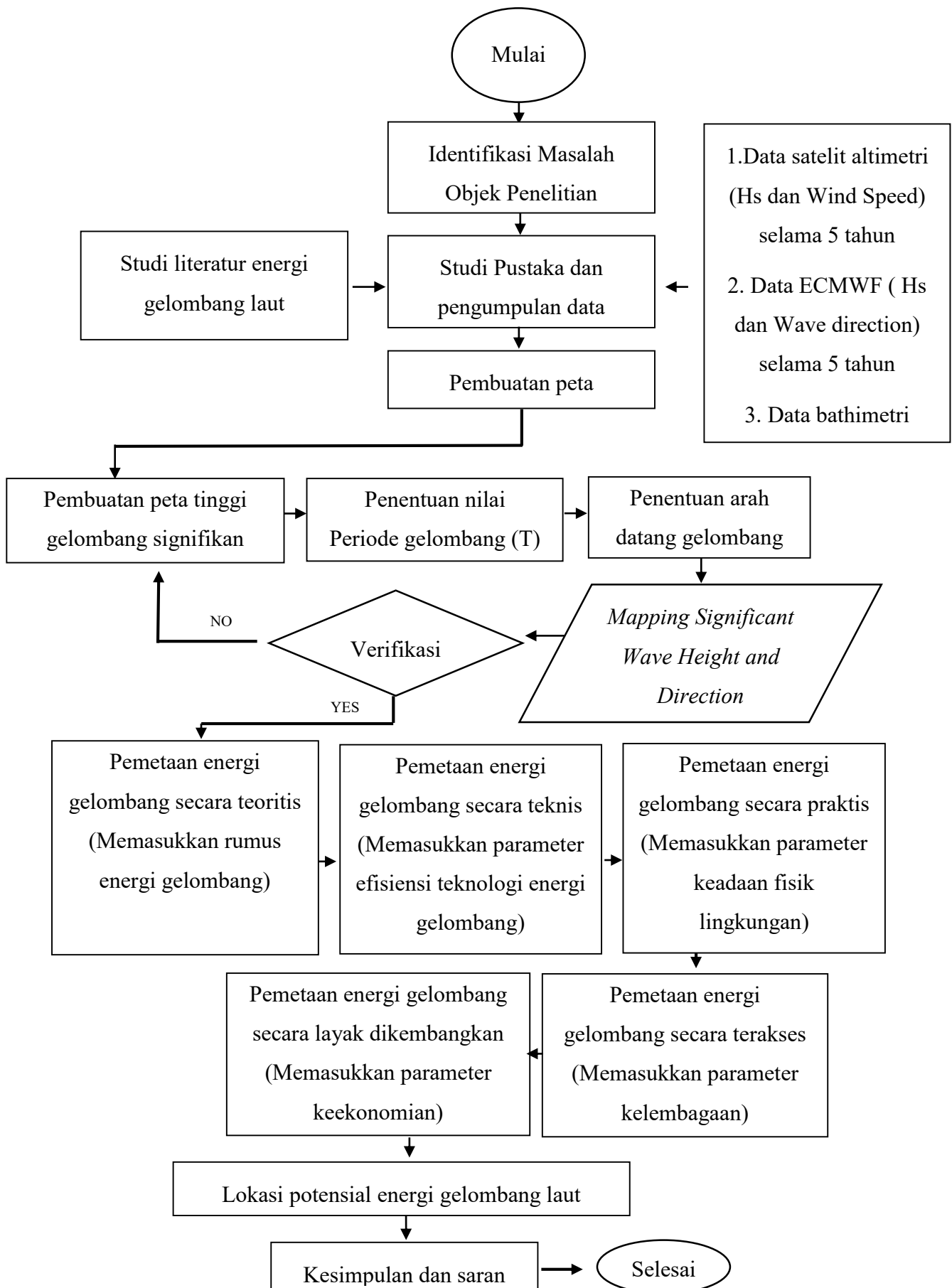


Gambar 12. Titik - Titik Observasi ECMWF

Dimana dalam thesis ini nantinya akan di bandingkan antara data tinggi gelombang signifikan (H_s) dari satelit altimetri dengan data tinggi gelombang signifikan dari ECMWF selama periode 2012 – 2016. Dimana data satelit altimetri merupakan data utama yang digunakan dalam pengerjaan thesis ini, sedangkan data ECMWF merupakan data pembanding.

3.2 Diagram alir

Diagram alir merupakan sebuah skema yang digunakan untuk menjelaskan secara mudah tentang tahap – tahap dalam pengerjaan thesis ini. Diagram alir proses pengerjaan thesis ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Alir

3.3 Langkah pengerjaan

3.3.1 Identifikasi masalah

Langkah awal yang dilakukan dalam pengerjaan thesis ini adalah identifikasi masalah. Hal ini bertujuan untuk memahami suatu pokok masalah yang akan dikerjakan. Dalam thesis ini terdapat masalah yang terkait tentang pemetaan energi gelombang di perairan Indonesia yang dinilai belum mencakup seluruh perairan Indonesia sehingga dalam thesis ini akan dilakukan pemetaan energi gelombang secara menyeluruh.

3.3.2 Studi literatur

Dalam tahap memahami suatu metode pemetaan untuk memetakan energi gelombang laut, perlu dilakukan studi literatur serta pengumpulan data dimana hal ini berfungsi agar memahami sistem serta konsep dalam pembuatan peta energi gelombang laut dan hal-hal apa saja yang perlu dipertimbangkan untuk memilih jenis data yang dipilih untuk memetakan sesuai dengan kondisi lingkungan di Indonesia.

3.3.3 Pemilihan jenis data

Pemilihan jenis data yang dipakai dilihat dari segi kelebihan dan kekurangannya dengan menganalisis hal tersebut apakah sudah sesuai dengan kriteria pemetaan yang akan dilakukan. Jenis data yang menjadi fokus dalam thesis ini adalah :

- Data ECMWF $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$ (Hs, arah gelombang) diunduh melalui website www.ecmwf.int
- Data Satelit Altimetri $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Hs dan U) diunduh melalui website www.aviso.altimetry.fr
- Data Bathimetri Indonesia diunduh melalui website www.marine-geo.org
- Data Alur pelayaran Indonesia didapat melalui literatur
- Data efisiensi teknologi energi gelombang didapat melalui literatur
- Data tata ruang dan kelembagaan didapat melalui literatur
- Data keekonomian didapat melalui literatur

3.3.4 Pembuatan peta

3.3.4.1 Peta tinggi gelombang signifikan

Dalam pembuatan peta tinggi gelombang signifikan dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.3 dimana hasil akhir nya adalah sebuah peta rata – rata tinggi gelombang signifikan di perairan Indonesia pada tahun 2012 – 2016. Pemetaan tinggi gelombang signifikan, yang menjadi data utama adalah data satelit altimetri dimana hasil yang di peroleh adalah hasil rata – rata per bulan selama lima tahun yaitu tahun 2012 – 2016. Sehingga hasil peta yang diperoleh sejumlah 12 peta dari bulan Januari hingga bulan Desember. Metode interpolasi yang digunakan dalam pemetaan tinggi gelombang yaitu metode *Inverse Distance Weight* (IDW) dimana dengan metode ini, nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) yang ditampilkan dalam peta merupakan nilai interpolasi dari data yang tersedia disekitarnya. Dalam proses pembuatan peta tinggi gelombang signifikan (H_s), perlu dilakukan perhitungan periode gelombang terlebih dahulu yang nantinya data tersebut digunakan dalam proses perhitungan energi gelombang. Dalam menentukan periode gelombang, digunakan rumus pada persamaan (14). Setelah itu dilakukan perhitungan arah datang nya gelombang yang terjadi. Dalam perhitungan arah datang nya gelombang, dilakukan rata – rata selama lima tahun tersebut pada tiap bulannya. Lalu dilakukan interpolasi dan penumpukan data arah gelombang yang kemudian disajikan dalam bentuk peta rata – rata tinggi gelombang signifikan (H_s).

3.3.4.1.1 Verifikasi

Sebuah verifikasi dilakukan agar dapat diketahui apakah data yang telah ada dapat digunakan untuk pemetaan selanjutnya atau tidak. Dalam thesis ini, verifikasi yang dilakukan adalah memverifikasi data tinggi gelombang signifikan pada satelit altimetry dengan data tinggi gelombang signifikan pada ECMWF pada tahun 2012 – 2016 pada jam pengukuran 00.00. Dimana ECMWF merupakan sebuah model peramalan gelombang yang dapat meramalkan tinggi gelombang setiap 6 jam sekali dalam sehari dan dapat meramalkan hingga 48 jam kedepan. Hasil sebuah verifikasi disajikan dalam bentuk grafik dan peta *Root Mean Square Error* (RMSE) agar dapat lebih mudah di pahami.

3.3.4.2 Peta energi gelombang teoritis

Dalam pembuatan peta energi gelombang teoritis, data yang digunakan adalah data tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang. Data tersebut diolah pada Ms.Excel yang kemudian dimasukkan pada rumus energi gelombang yang telah dijelaskan pada bab 2. Setelah didapat nilai energi gelombang, maka nilai tersebut dimasukkan pada ArcGIS untuk di interpolasi yang nantinya akan dijadikan sebuah peta energi gelombang teoritis serta di hitung daya nya.

3.3.4.3 Peta energi gelombang teknis

Dalam pembuatan peta energi gelombang teknis, data yang digunakan adalah data energi gelombang dan data efisiensi teknologi konverter gelombang yang telah dijelaskan pada bab 2 tentang teknologi gelombang. Nilai energi gelombang yang ada akan dikalikan dengan efisiensi teknologi untuk teknologi – teknologi yang telah dipilih dan hasilnya dilakukan interpolasi yang kemudian dijadikan peta energi gelombang teknis serta di hitung daya nya.

3.3.4.4 Peta energi gelombang praktis

Dalam pembuatan peta energi gelombang praktis, data yang digunakan adalah data energi gelombang teknis, data bathymetri dan data Alur pelayaran. Data bathymetri tersebut berguna untuk melihat kedalaman perairan di Indonesia dimana data yang digunakan memiliki resolusi 100 meter dan data alur pelayaran yang digunakan adalah alur laut kepulauan Indonesia (ALKI) yang nantinya kedua data tersebut digunakan sebagai parameter untuk menentukan lokasi untuk pembuatan peta energi gelombang praktis serta dari peta tersebut akan di hitung daya nya.

3.3.4.5 Peta energi gelombang terakses

Dalam pembuatan peta energi gelombang aksesibel, data yang digunakan adalah data Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K) yang didapat dari literatur. Data RZWP3K berupa peta yang nantinya digunakan untuk penentuan lokasi yang masih dapat digunakan untuk energi gelombang. Hasil pembahasan tersebut dibuat menjadi sebuah peta energi gelombang aksesibel serta di hitung daya nya.

3.3.4.6 Peta energi gelombang layak dikembangkan

Dalam pembuatan peta energi gelombang layak dikembangkan, data yang digunakan adalah data – data tentang keekonomian. Diantaranya, data jumlah penduduk, data kebutuhan listrik, data infrastruktur listrik, dan data harga listrik untuk energi gelombang. Data – data tersebut didapat melalui literatur yang nantinya akan digunakan sebagai parameter dalam menentukan lokasi yang memiliki nilai ekonomi tinggi untuk pembangkit energi gelombang. Hasil pembahasan tentang keekonomian tersebut dibuat menjadi peta energi gelombang layak dikembangkan sehingga mudah dipahami.

3.3.4.7 Peta Lokasi energi gelombang Indonesia

Dalam pembuatan peta lokasi energi gelombang Indonesia, data yang digunakan adalah peta – peta energi gelombang yang telah dibuat sebelumnya. Nantinya peta lokasi ini merupakan sebuah peta *overlay* dari berbagai peta yang telah dibuat sehingga didapatkan lokasi yang layak dikembangkan untuk energi gelombang di perairan Indonesia.

3.3.5 Kesimpulan dan Saran

Langkah akhir yang dilakukan dalam pembuatan thesis ini adalah membuat kesimpulan dan saran. Dimana kesimpulan adalah merupakan hasil yang telah tercapai dalam thesis ini sesuai dengan tujuan yang telah dibuat pada bab 1. Sedangkan saran merupakan hal – hal yang belum dilakukan dalam thesis ini yang kedepannya jika terdapat penelitian serupa dapat menjadi masukan untuk peneliti tersebut.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemetaan Tinggi Gelombang Signifikan

Dalam pemetaan tinggi gelombang signifikan perairan Indonesia, data yang digunakan adalah data tinggi gelombang signifikan (Hs) yang berasal dari satelit altimetri. Dimana data tersebut mewakili seluruh perairan Indonesia. Namun dalam pemetaan tersebut, adapun asumsi yang digunakan yaitu nilai tinggi gelombang signifikan untuk perairan lepas pantai memiliki keakuratan yang lebih bagus jika dibandingkan nilai tinggi gelombang yang dekat dengan pantai, sehingga nilai tinggi gelombang yang muncul di perairan lepas pantai ataupun hasil interpolasinya lebih mendekati realita yang ada di lapangan. Adapun contoh data tinggi gelombang signifikan serta kecepatan angin dari satelit altimetri yang ditampilkan pada gambar 14.

1	//<Version>ODV Spreadsheet V4.0</Version>											
2	//<Creator>asus@REZA-PC</Creator>											
3	//<CreateTime>2018-07-31T12:29:10</CreateTime>											
4	//<Software>ODV</Software>											
5	//<Source>D:/KEMRI/ODV/Source</Source>											
6	//<SourceLastModified>2017-10-29T00:19:45</SourceLastModified>											
7	//<DataField>GeneralField</DataField>											
8	//<DataType>TimeSeries</DataType>											
9	//											
10	Cruise	Station	Longitude	Latitude	time_ISO8601	Longitude	Latitude	Significant Wave height [m]	Wind Speed Modulus [m/s]	Wave Direction [degree]	Wave Period [s]	Wave Power [kW/m]
11	2012-01-01	1	94	-11	2012-01-01T00:00:00.000	94	-11	1,8236	2,6642	210,76	7,318312917	12,16838686
12					2012-01-02T00:00:00.000	94	-11	1,8606	1,6799	202,33	7,899800655	13,67389277
13					2012-01-03T00:00:00.000	94	-11	1,744	1,5917	207,06	7,661575046	11,65147816
14					2012-01-04T00:00:00.000	94	-11	1,6665	2,3656	210,26	7,088468444	9,84312614
15					2012-01-05T00:00:00.000	94	-11	1,6459	3,3743	192,51	6,618499144	8,964713442
16					2012-01-06T00:00:00.000	94	-11	1,4967	2,1355	195,24	6,777222799	7,590865298
17					2012-01-07T00:00:00.000	94	-11	1,5919	3,8288	148,6	6,332371449	8,023575654
18					2012-01-08T00:00:00.000	94	-11	1,7189	6,4415	106,83	5,807673618	8,579726211
19					2012-01-09T00:00:00.000	94	-11	1,8748	3,4666	75,38	7,083636074	12,44904781
20					2012-01-10T00:00:00.000	94	-11	1,9683	2,4536	84,44	7,747081879	15,00689125
21					2012-01-11T00:00:00.000	94	-11	2,1711	3,8232	173,55	7,5499071	17,79390497
22					2012-01-12T00:00:00.000	94	-11	2,1473	3,4836	161,8	8,107313363	19,78622547

Gambar 14 Tampilan data Satelit Altimetri dan ECMWF

Berdasarkan informasi dari contoh tersebut, maka untuk menghitung nilai periode gelombang (T_z) jika tinggi gelombang signifikkannya yaitu 1,8236 meter dan

kecepatan angin nya 2,6642 m/s menggunakan persamaan 17 maka perhitungannya yaitu :

$$T_z = 1,299 a - 1,127$$

Dimana

$$a = 2,247 + (4,947 + (25,399 \times 1,8236)) / 7,562 + 1,8236 + 2,6642$$

$$a = 2,247 + (4,947 + 46,3176164) / 12,0498$$

$$a = 2,247 + (51,2646164) / 12,0498$$

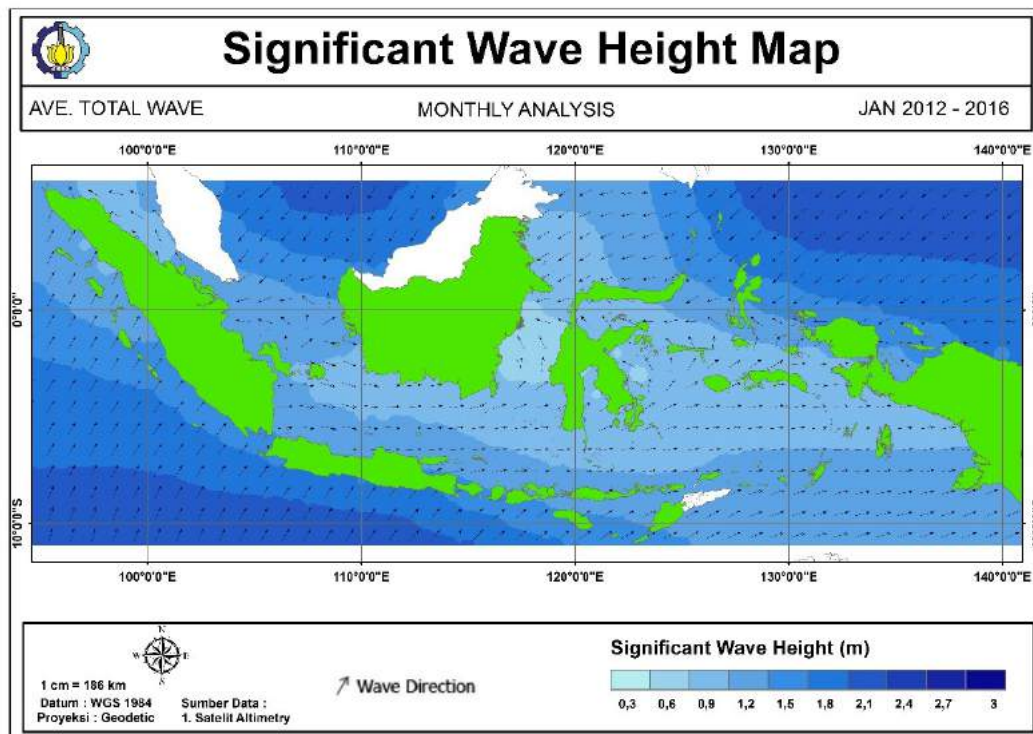
$$a = 2,247 + 4,254 = 6,501$$

Setelah diketahui nilai a, maka dimasukkan kedalam persamaan T_z sehingga nilai T_z adalah :

$$T_z = 1,299 (6,501) - 1,127 = 8,445 - 1,127 = 7,318$$

Berdasarkan contoh perhitungan periode gelombang (T_z) yang telah dilakukan, maka untuk perhitungan periode gelombang untuk waktu dan koordinat lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

Untuk tinggi gelombang signifikan yang berasal dari satelit altimetri kemudian dilakukan rata – rata per bulan pada setiap koordinatnya dan dilakukan berdasarkan data yang dimiliki (2012 – 2016), begitu juga untuk nilai arah gelombang dilakukan rata – rata yang selanjutnya dilakukan interpolasi pada ArcGIS sehingga hasilnya terdapat pada gambar 15.



Gambar 15. Peta Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Januari

Pada Gambar 15, rata – rata tinggi gelombang signifikan yang terjadi pada bulan Januari di perairan Indonesia memiliki nilai yang bervariasi (0,3 m – 3 m). Dengan arah datang nya gelombang dari samudera Hindia dan juga samudera Pasifik. Jika melihat dari hasil peta tersebut, perairan yang cocok untuk dijadikan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga gelombang yaitu perairan barat daya Sumatera, selatan Jawa, selatan Bali – NTT – NTB, Maluku dan utara Papua yang berhadapan langsung dengan laut lepas. Hal ini terkait dengan rata – rata tinggi gelombang signifikan pada perairan tersebut cukup tinggi (lebih dari 2 meter). Untuk hasil pemetaan tinggi gelombang signifikan pada bulan lainnya terdapat pada lampiran.

Adapun diagram persebaran tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang di seluruh perairan Indonesia selama tahun 2012 – 2016 berdasarkan satelit altimetri yaitu:

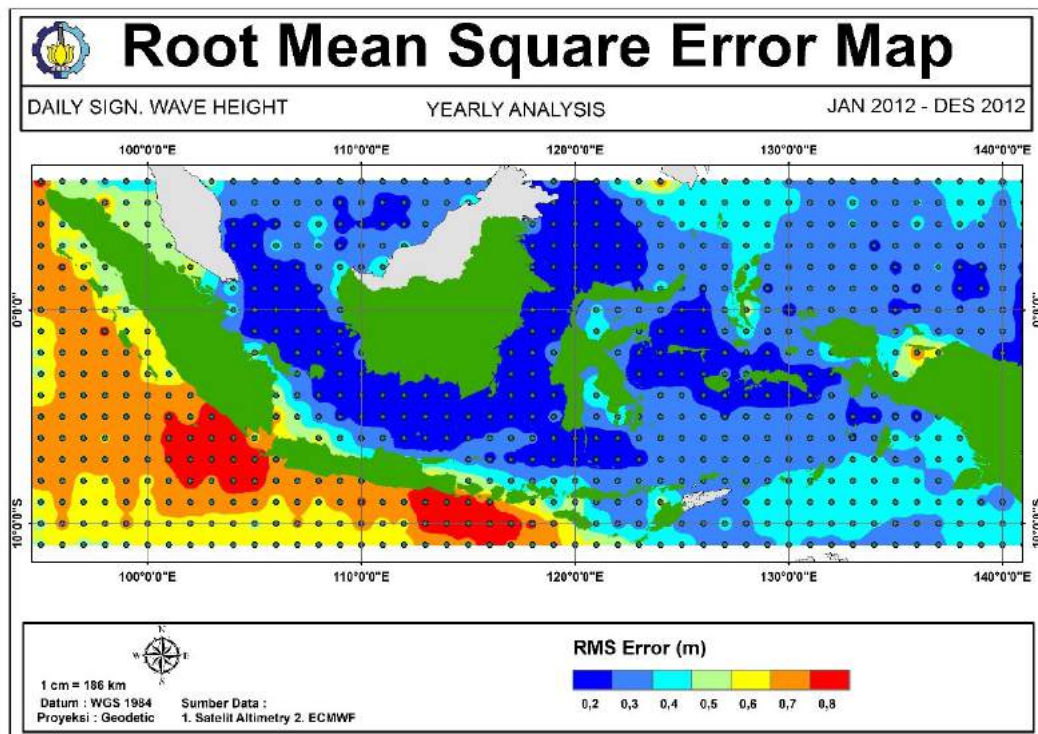
Hs (m)	Tz (s)										
	0 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 9,0	9,0 - 10,0	> 10,0
0 - 0,5	0	0	65246	132096	40072	0	0	0	0	0	0
0,5 - 1,0	0	0	0	48847	251263	88992	9776	0	0	0	0
1,0 - 1,5	0	0	0	30	65369	117122	78869	22321	0	0	0
1,5 - 2,0	0	0	0	0	1695	47160	72695	45936	20627	3848	0
2,0 - 2,5	0	0	0	0	5	5867	34934	30093	18558	8243	3454
2,5 - 3,0	0	0	0	0	0	101	7823	12176	7199	5845	3501
> 3,0	0	0	0	0	0	0	531	4212	3119	2222	3093

Gambar 16 Diagram persebaran gelombang di perairan Indonesia tahun 2012 – 2016

Selama tahun 2012 – 2016, pada perairan Indonesia memiliki persebaran tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang terbanyak pada nilai 0,5 – 1 meter dan 4 – 5 detik.

4.2 Verifikasi data satelit dengan ECMWF

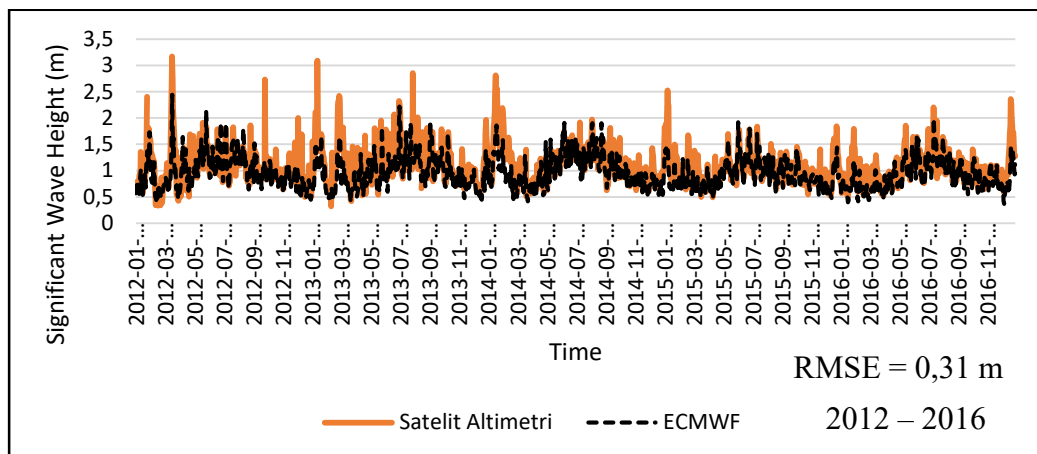
Pemetaan yang telah dilakukan pada bagian 4.1 merupakan hasil dari interpolasi data citra satelit, namun hal ini belum dapat digunakan lebih lanjut untuk pemetaan potensi energi gelombang dikarenakan perlunya verifikasi data gelombang terlebih dahulu. Dalam hal verifikasi data gelombang, digunakan data gelombang ECMWF merupakan sebuah model numerik yang dapat meramalkan gelombang setiap 6 jam sekali dalam sehari dan dapat meramalkan hingga 48 jam kedepan (Reikard et al,2011). Untuk verifikasi data, dilakukan dengan cara mencari nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dari kedua data gelombang tersebut.



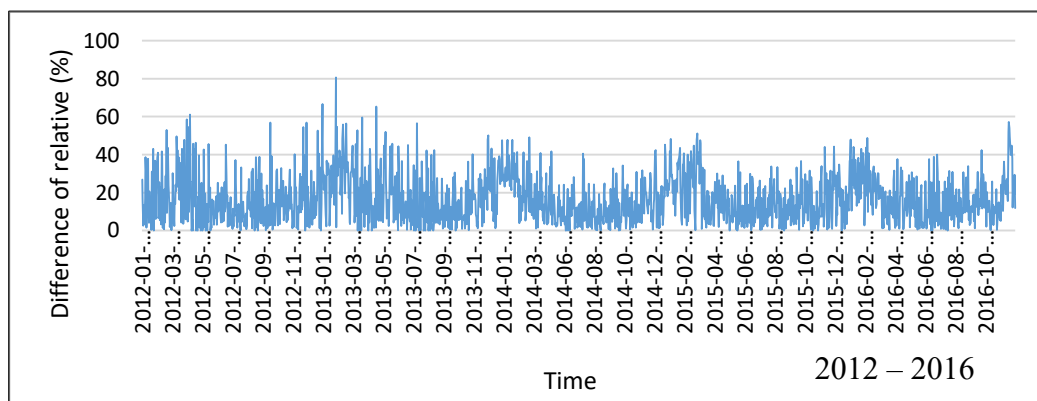
Gambar 17. Peta *Root Mean Square Error* (RMSE) tahun 2012

Pada Gambar 17, terlihat perbedaan warna pada peta RMSE pada tahun 2012. Dari peta tersebut mempunyai nilai RMSE antara 0,2 m yang berwarna biru tua hingga yang terbesar 0,8 m ditunjukkan dengan warna merah. Pada peta tersebut dapat diartikan bahwa nilai gelombang antara ECMWF dengan Altimetri memiliki nilai yang cukup jauh berbeda pada perairan samudera Hindia. Sedangkan untuk perairan yang lain cenderung memiliki nilai yang hampir sama, hal ini dilihat dari nilai RMSE yang kecil pada peta tersebut.

Selanjutnya, dalam thesis ini juga ditampilkan grafik perbandingan nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) antara data Altimetri dan data ECMWF. Data yang ditampilkan dalam bentuk grafik merupakan data sampel dari data satelit yang dibandingkan dengan data ECMWF dari koordinat dan waktu yang sama. Hasilnya sebagai berikut :



Gambar 18. Perbandingan Data Tinggi Gelombang Signifikan koordinat (121, -10) tahun 2012 – 2016



Gambar 19. Perbedaan Relatif Tinggi Gelombang Signifikan koordinat (121, -10)

Pada Gambar 18, merupakan verifikasi data tinggi gelombang signifikan pada koordinat 121, -10 dimana data yang dilakukan verifikasi yaitu pada bulan Januari 2012 hingga Desember 2016 dan mendapatkan nilai RMSE pada koordinat tersebut adalah 0,31 m. Dimana warna hitam menunjukkan tinggi gelombang ECMWF, sedangkan warna orange menunjukkan tinggi gelombang Altimetri. Sedangkan pada Gambar 19, merupakan perbandingan atau nilai perbedaan relatif antara data satelit Altimetri dan ECMWF. Dapat dilihat bahwa persentase tingkat perbedaan relatif yang cenderung tinggi terjadi pada tahun 2012 – 2013 jika dibandingkan dengan tahun – tahun lainnya. Hal ini dikarenakan perbedaan yang tinggi antara data satelit altimetri dengan ECMWF untuk koordinat tersebut pada hari tersebut.

Pada penelitian Akpinar, et al (2013) yang membandingkan data model ECMWF dengan pengukuran buoy pada Januari hingga Desember 1995 pada perairan Laut Hitam mendapatkan hasil bahwa nilai tinggi gelombang signifikan model memiliki nilai yang jauh lebih rendah daripada nilai tinggi gelombang signifikan pada buoy. Selain itu, penelitian Zhou, et al (2015) melakukan perbandingan data gelombang signifikan dari sebuah model ECMWF dengan satelit altimetri di perairan Teluk Beibu, China pada bulan September 2009 hingga Desember 2012 dimana dari perbandingan tinggi gelombang signifikan tersebut mendapatkan nilai RMSE sebesar 0,6 m - 0,9 m dimana tinggi nya nilai RMSE disebabkan karena satelit lebih akurat jika mengukur perairan dalam sedangkan perairan dangkal tidak begitu akurat. Sedangkan penelitian Yaakob, et al (2016) melakukan perbandingan antara data satelit altimetri dan buoy pada perairan Laut Cina Selatan selama 10 tahun, dimana hasil RMSE untuk tinggi gelombang signifikan antara kedua data tersebut yaitu sebesar 0,217 m. Berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya, maka baik data satelit altimetri dan data model sama – sama memiliki nilai kesalahan yang berbeda jika dibandingkan dengan pengukuran langsung ataupun buoy. Sehingga jika data satelit dibandingkan dengan data model maka tidak dapat dinyatakan data mana yang lebih merepresentatif dikarenakan keduanya tidak melakukan pengukuran langsung pada perairan tersebut.

Dari sampel data yang dilakukan verifikasi, nilai RMSE yang didapat berbeda – beda pada setiap koordinat. Namun pada dasarnya adalah semakin kecil nilai RMSE yang didapat, maka tingkat error pada data yang digunakan semakin kecil juga.

4.3 Pemetaan Energi Gelombang Teoritis

Pemetaan energi gelombang secara teoritis yaitu pemetaan yang dilakukan dengan cara memasukkan rumus perhitungan energi gelombang yang kemudian di intepretasikan dalam bentuk peta energi gelombang agar lebih mudah dilihat. Rumus energi gelombang yang dipakai sesuai dengan persamaan (4) dimana sebelum itu perlu dilakukan perhitungan periode gelombang dengan persamaan (17) dikarenakan satelit altimetri tidak dapat menghitung otomatis periode gelombang (T). Adapun asumsi yang digunakan dalam pemetaan energi gelombang

teoritis yaitu nilai potensi energi gelombang yang dihitung berdasarkan titik – titik observasi yang berasal dari satelit altimetri, bukan hasil interpolasi dari titik – titik tersebut. Hal ini dianggap sudah mencakup seluruh potensi energi gelombang yang terdapat di perairan Indonesia.

Adapun contoh perhitungan energi gelombang yang menggunakan persamaan 4 jika diketahui sesuai gambar 14 nilai $H_s = 1,8236$ meter dan $T_z = 7,318$ detik, maka perhitungannya yaitu :

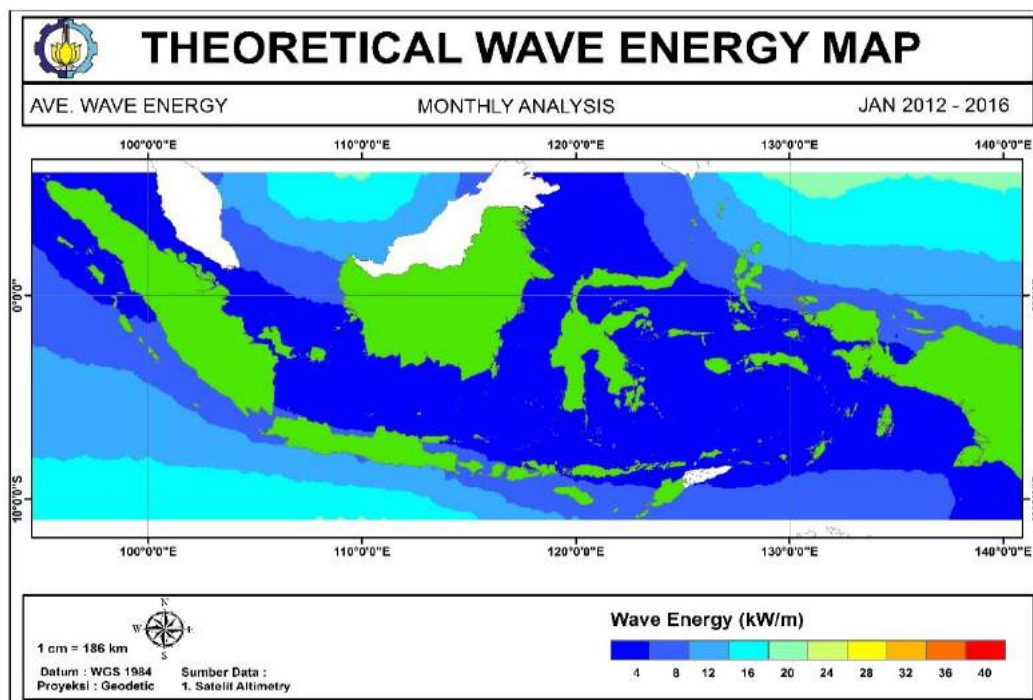
$$P = \frac{1}{2} H_s^2 T_z$$

$$P = \frac{1}{2} (1,8236)^2 \times 7,318$$

$$P = \frac{1}{2} (3,325) \times 7,318$$

$$P = 12,168 \text{ kW/m}$$

Berdasarkan contoh perhitungan tersebut, maka untuk perhitungan energi gelombang pada waktu dan koordinat yang lain dilakukan dengan cara yang sama. Setelah diketahui nilai energi gelombang nya, maka dilakukan rata – rata per bulan pada setiap koordinat selama (2012 – 2016) dan kemudian di interpolasikan sehingga didapatkan peta energi gelombang teoritis seperti berikut :



Gambar 20 Peta Energi Gelombang Teoritis Bulan Januari

Pada Gambar 20 , rata – rata energi gelombang di perairan Indonesia pada bulan Januari juga cenderung bervariasi, sesuai dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) yang juga bervariasi nilainya. Untuk nilai energi gelombang yang besar juga terdapat di perairan barat daya Sumatera, selatan Jawa, selatan Bali – NTT – NTB, Maluku dan utara Papua yang berhadapan langsung dengan laut lepas dengan nilai maksimal hingga 40 kW/m yang terjadi pada bulan Juni - Agustus. Untuk besaran energi gelombang di perairan Indonesia yang terjadi setiap bulan dari Januari – Desember menunjukkan bahwa besaran energi di perairan Samudera Hindia memiliki besaran energi yang lebih tinggi setiap waktunya jika dibandingkan dengan energi gelombang yang terjadi di perairan Samudera Pasifik yang memiliki nilai energi yang besar pada bulan – bulan di awal tahun dan akhir tahun saja. Untuk hasil pemetaan energi gelombang teoritis pada bulan lainnya terdapat pada lampiran. Adapun lokasi – lokasi perairan di Indonesia yang sesuai dengan perhitungan potensi teoritis yaitu terdapat pada Gambar 21. Sedangkan untuk perhitungan daya, energi gelombang yang terdapat pada perairan Indonesia dikalikan dengan panjang garis pantai di Indonesia sehingga mendapatkan besaran daya untuk perairan Indonesia pada tahun 2012 – 2016 yang tersaji pada Tabel 2.



Gambar 21 Peta Potensi Energi Gelombang Teoritis

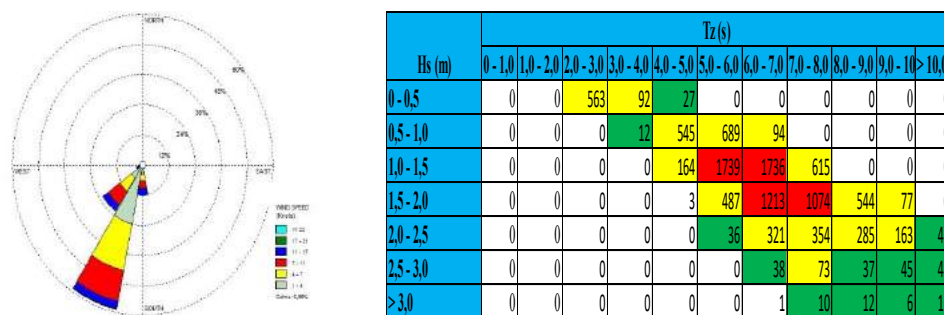
Tabel 2 Potensi Energi Gelombang Teoritis

Potensi Teoritis (MW)	2012	2013	2014	2015	2016
	136.000	158.000	150.000	134.000	139.000

4.4 Pemetaan Energi Gelombang Teknis

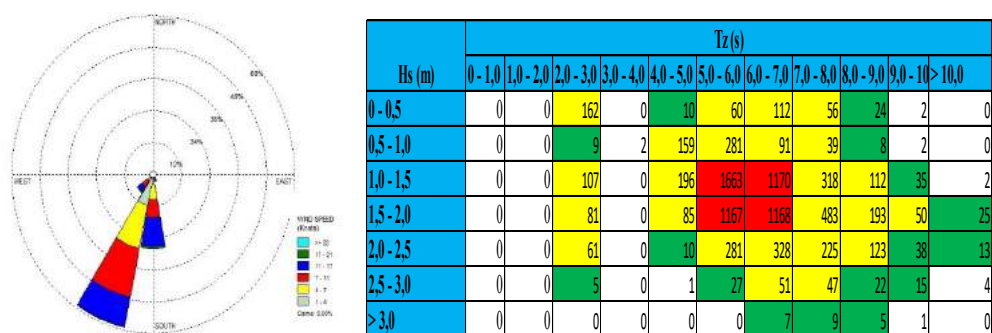
Pemetaan energi gelombang secara teknis merupakan pemetaan lanjutan dari pemetaan energi gelombang secara teoritis. Dimana pada pemetaan ini, faktor efisiensi teknologi konverter energi gelombang dimasukkan dalam perhitungan ini. Untuk efisiensi teknologi yang digunakan berdasarkan Tabel 1 teknologi energi gelombang di dunia yang terdapat pada bab 2. Adapun asumsi yang digunakan dalam pemetaan energi gelombang teknis yaitu tidak semua efisiensi teknologi yang terdapat pada tabel tersebut digunakan, namun efisiensi teknologi yang terletak pada perairan *offshore* yang digunakan serta yang memiliki informasi power matrix. Hal ini dikarenakan data gelombang yang digunakan merupakan data satelit altimetri dimana data satelit ini untuk mendeteksi gelombang pada perairan *offshore* lebih akurat.

Adapun lokasi – lokasi yang secara potensi teoritis berpotensi yaitu perairan barat daya Sumatera, selatan Jawa, selatan Bali, NTB, Sumba, NTT, dan utara Papua. Dimana untuk lokasi – lokasi tersebut, penulis menghitung distribusi gelombang yang terjadi selama 2012 – 2016 berdasarkan data satelit altimetri serta Wave rose yang digunakan untuk melihat arah datangnya gelombang yang dominan pada perairan – perairan tersebut.



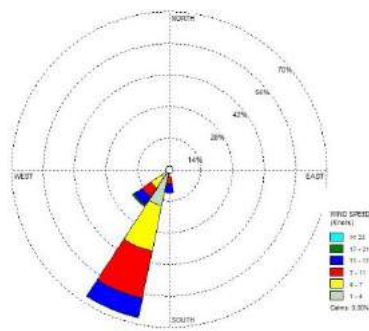
Gambar 22 Wave rose dan distribusi gelombang perairan barat daya Sumatera

Berdasarkan informasi Gambar 22, maka pada perairan barat daya Sumatera memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Sumatera dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 1 – 2 meter dan periode 5 – 8 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datangnya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 44 kW untuk teknologi Power Buoy, 153 kW untuk teknologi Pelamis, 640 kW untuk teknologi LEANCON, dan 82 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.



Gambar 23 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Jawa

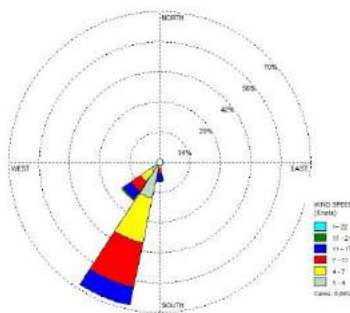
Berdasarkan informasi Gambar 23, maka pada perairan selatan Jawa memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Jawa dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 1 – 2 meter dan periode 5 – 7 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datangnya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 30 kW untuk teknologi Power Buoy, 148 kW untuk teknologi Pelamis, 640 kW untuk teknologi LEANCON, dan 77 kW untuk teknologi RM5 OSWEC



Hs (m)	Tz(s)											
	0 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 9,0	9,0 - 10,0	> 10,0	
0 - 0,5	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,5 - 1,0	0	0	0	0	149	167	24	0	0	0	0	
1,0 - 1,5	0	0	0	0	92	564	270	56	0	0	0	
1,5 - 2,0	0	0	0	0	0	149	130	60	27	5	0	
2,0 - 2,5	0	0	0	0	0	12	24	16	11	2	1	
2,5 - 3,0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	1	0	
> 3,0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	

Gambar 24 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Bali

Berdasarkan informasi Gambar 24, maka pada perairan selatan Bali memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Bali dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 1 – 1,5 meter dan periode 5 – 7 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datangnya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 17 kW untuk teknologi Power Buoy, 83 kW untuk teknologi Pelamis, 160 kW untuk teknologi LEANCON, dan 45 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.

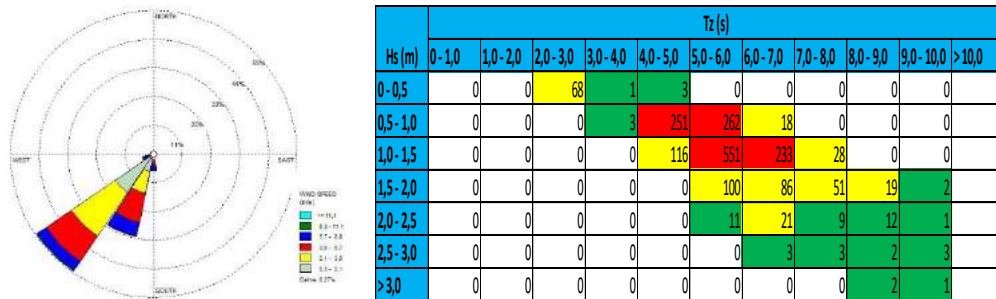


Hs (m)	Tz(s)											
	0 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 9,0	9,0 - 10,0	> 10,0	
0 - 0,5	0	0	88	0	4	0	0	0	0	0	0	
0,5 - 1,0	0	0	0	2	233	225	18	0	0	0	0	
1,0 - 1,5	0	0	0	0	129	564	228	41	0	0	0	
1,5 - 2,0	0	0	0	0	2	110	91	45	22	1	0	
2,0 - 2,5	0	0	0	0	0	10	16	8	10	2	0	
2,5 - 3,0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	1	0	
> 3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	

Gambar 25 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan NTB

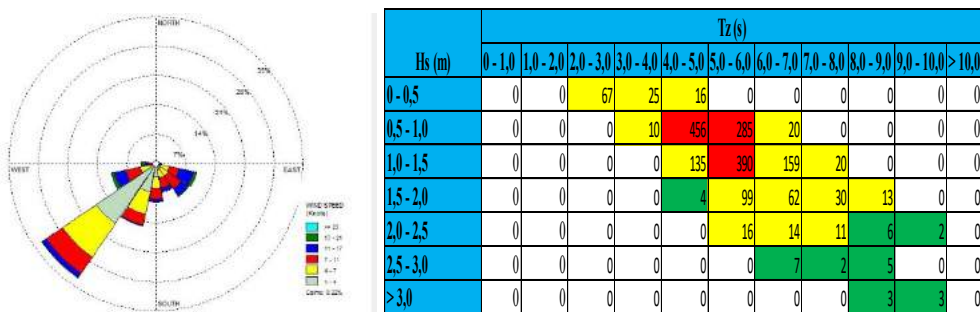
Berdasarkan informasi Gambar 25, maka pada perairan selatan Nusa Tenggara Barat memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Nusa Tenggara Barat dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 0,5 – 1,5 meter dan periode 5 – 7 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datangnya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan

mencapai 17 kW untuk teknologi Power Buoy, 83 kW untuk teknologi Pelamis, 160 kW untuk teknologi LEANCON, dan 45 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.



Gambar 26 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan Sumba

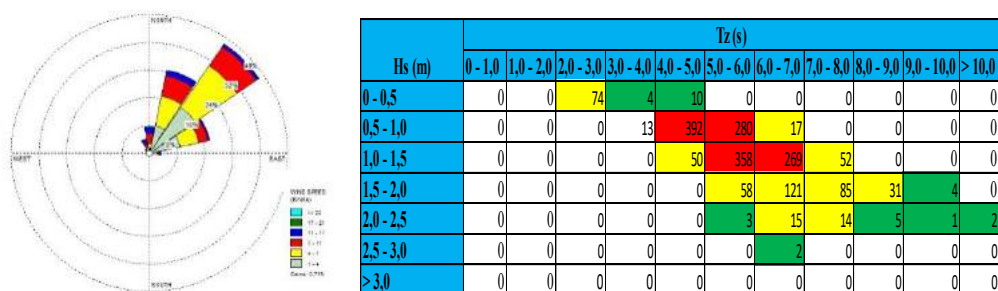
Berdasarkan informasi Gambar 26, maka pada perairan selatan Sumba memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Sumba dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 0,5 – 1,5 meter dan periode 4 – 7 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datangnya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 17 kW untuk teknologi Power Buoy, 83 kW untuk teknologi Pelamis, 160 kW untuk teknologi LEANCON, dan 45 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.



Gambar 27 Wave rose dan distribusi gelombang perairan selatan NTT

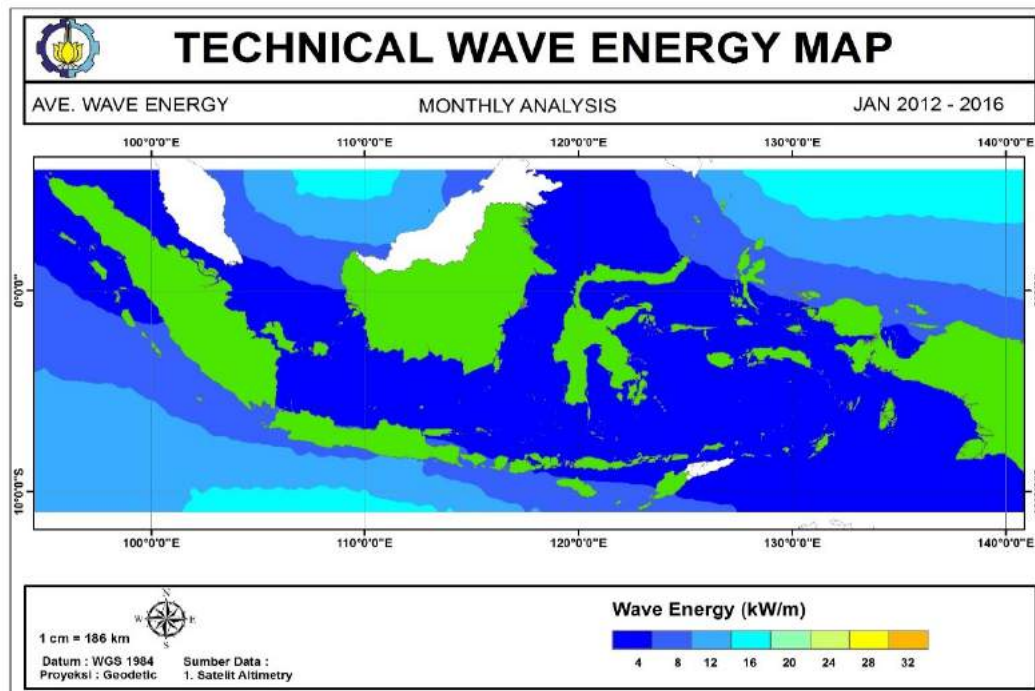
Berdasarkan informasi Gambar 27 , maka pada perairan selatan Nusa Tenggara Timur memiliki arah datangnya gelombang yang dominan berasal dari barat daya pulau Nusa Tenggara Timur dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 0,5 – 1,5 meter dan periode 4 – 6 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi

barat daya sesuai dengan arah dominan datanganya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 13 kW untuk teknologi Power Buoy, 65 kW untuk teknologi Pelamis, 192 kW untuk teknologi LEANCON, dan 41 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.



Gambar 28 Wave rose dan distribusi gelombang perairan utara Papua

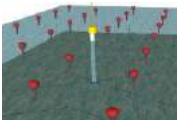


Berdasarkan informasi Gambar 28, maka pada perairan selatan Papua memiliki arah datanganya gelombang yang dominan berasal dari timur laut pulau Papua dan tinggi gelombang signifikan serta periode gelombang yang sering terjadi yaitu pada tinggi 0,5 – 1,5 meter dan periode 4 – 7 detik. Sehingga untuk peletakan teknologi gelombang akan dihadapkan pada posisi barat daya sesuai dengan arah dominan datanganya gelombang. Serta jika dikaitkan dengan power matrix yang ada, maka energi gelombang yang dapat dihasilkan mencapai 17 kW untuk teknologi Power Buoy, 83 kW untuk teknologi Pelamis, 160 kW untuk teknologi LEANCON, dan 45 kW untuk teknologi RM5 OSWEC.



Gambar 29 Peta Energi Gelombang Teknis Bulan Januari

Dalam perhitungan energi gelombang teknis, efisiensi teknologi yang digunakan meliputi dari teknologi yang terdapat pada tabel 3. Hal ini dikarenakan lokasi yang dimaksud *offshore* menurut Lopez, et al (2013) yaitu berada pada kedalaman perairan lebih dari 40 meter. Namun tidak semua teknologi *offshore* dapat digunakan di perairan Indonesia, hal ini berkaitan dengan power matrix pada setiap teknologi yang berbeda – beda. Teknologi – teknologi yang dibahas dalam sub bab ini yaitu yang memiliki informasi power matrix yaitu LEANCON, Aqua Buoy, Pelamis, dan RM5 OSWEC. Sehingga dari beberapa teknologi tersebut dilakukan rata – rata efisiensi yang kemudian mendapatkan nilai efisiensi 85,5%. Nilai ini kemudian digunakan untuk menghitung energi gelombang secara teknis yang hasilnya pada Gambar 29, dimana energi gelombang secara teknis di perairan Indonesia memiliki nilai maksimal 32 kW/m yang terjadi pada bulan Juni – Agustus, dimana pada gambar tersebut terlihat perairan samudera Hindia memiliki energi hingga sebesar 16 kW/m. Untuk pemetaan energi gelombang teknis pada bulan lainnya serta informasi terkait power matrix teknologi konverter energi gelombang terdapat pada lampiran.

Tabel 3. Teknologi gelombang *offshore*

Nama	Rated power (kW)	Kedalaman (m)	Effisiensi (%)	Gambar	Referensi
LEANCON	4600	40	80		Nielsen et al, 2015
Ocean Energy	500	50	70		Ocean energy (2017)
Ocean Harvesting Technology	10000	100	80		OHT (2015)
Aqua Buoy	200	45 - 76	90		Weinstein et al (2004)
Pelamis	750	50 – 60	90		Pelamis (2017)
RM5 Oswec	360	50 - 100	82		Yu, et al (2015)
Wello Oy	600	40 – 50	90		Wello (2017)
Wave Cat	71	50 – 100	75		Sampanis, K., et al (2016)
Effisiensi rata - rata			85,5%		

*Teknologi energi gelombang yang digunakan untuk perhitungan potensi teknis yaitu teknologi yang diberi tulisan berwarna merah.

Adapun lokasi – lokasi perairan di Indonesia yang sesuai dengan perhitungan potensi teknis yaitu terdapat pada Gambar 30. Sedangkan untuk perhitungan daya, energi gelombang yang telah dikalikan dengan efisiensi alat kemudian dikalikan dengan panjang garis pantai di Indonesia sehingga mendapatkan besaran daya untuk tahun 2012 – 2016 yang tersaji pada Tabel 4.



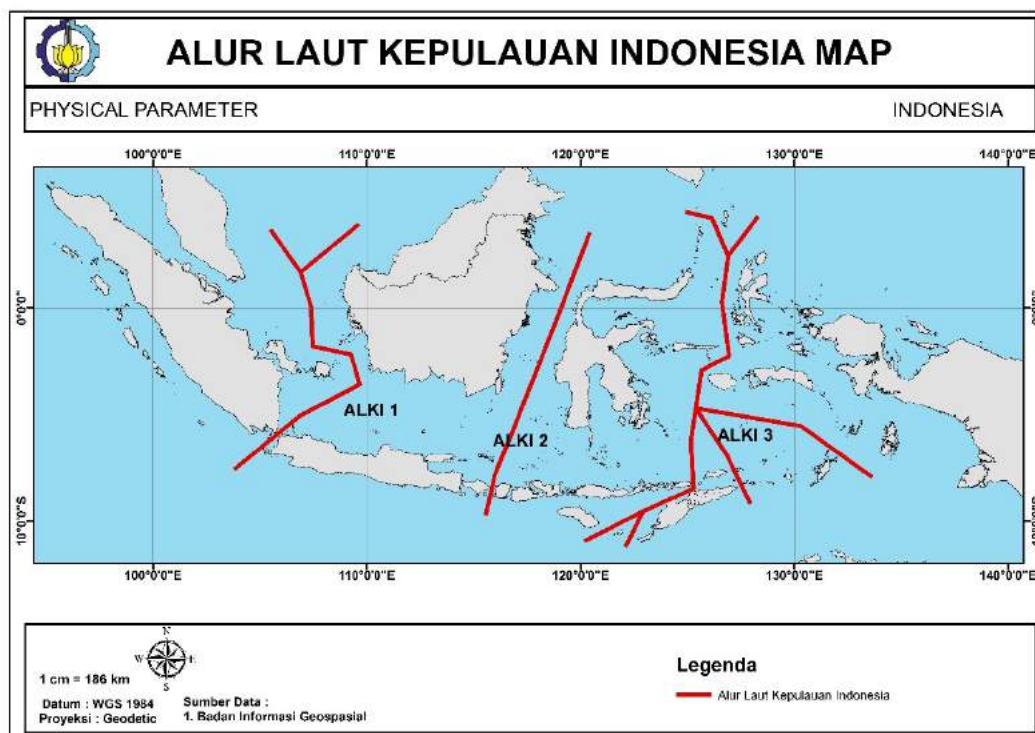
Gambar 30 Peta Potensi Energi Gelombang Teknis

Tabel 4 Potensi Energi Gelombang Teknis

Potensi Teknis (MW)	2012	2013	2014	2015	2016
	111.000	129.000	123.000	109.000	114.000

4.5 Pemetaan Energi Gelombang Praktis

Pemetaan energi gelombang secara praktis merupakan tahap berikutnya setelah pemetaan teknis. Dalam pemetaan secara praktis, parameter yang digunakan adalah kedalaman perairan (bathimetri) serta alur pelayaran. Hal ini digunakan untuk menentukan lokasi – lokasi dengan kedalaman yang sesuai dengan teknologi energi gelombang serta lokasi perairan yang tidak digunakan untuk alur pelayaran di Indonesia yang nantinya jika terdapat teknologi energi gelombang dapat mengganggu alur pelayaran di Indonesia. Adapun Asumsi yang digunakan dalam pemetaan energi gelombang praktis yaitu kedalaman yang digunakan yaitu lebih dari 40 meter (m) hal ini dikarenakan data satelit yang digunakan lebih akurat untuk perairan *offshore* dimana yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya jika perairan dikatakan *offshore* jika kedalamannya lebih dari 40 meter (m). Untuk perhitungan daya perairan Indonesia dilakukan berdasarkan titik – titik observasi satelit altimetri.

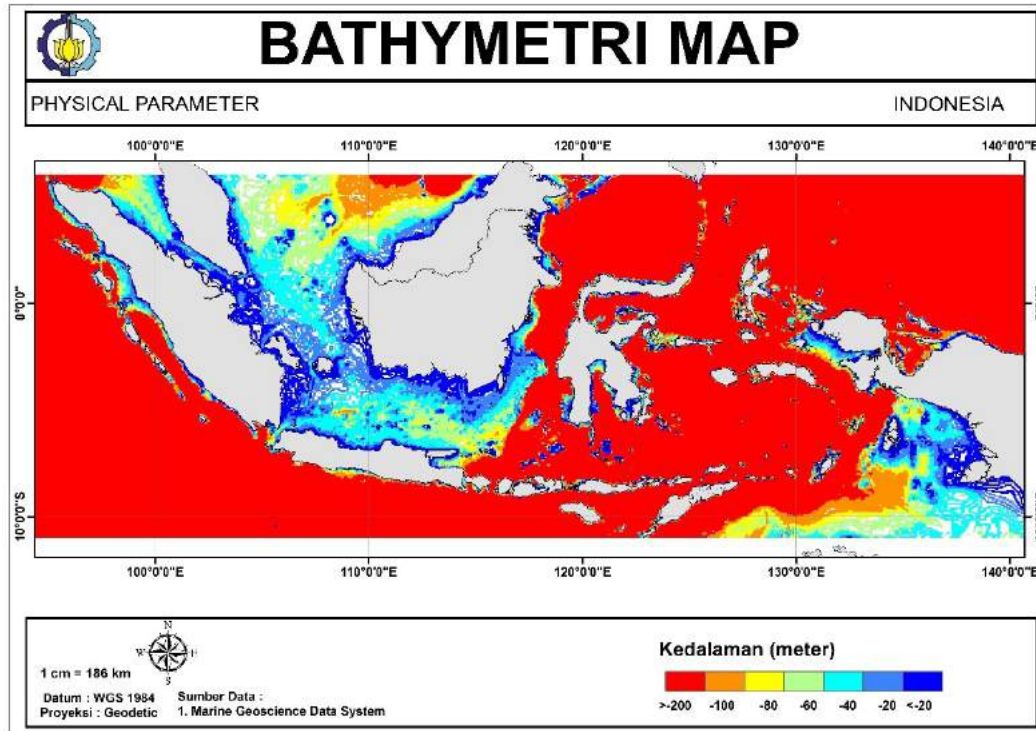


Gambar 31 Peta Alur Laut Kepulauan Indonesia

Pada Gambar 31, terdapat tiga alur pelayaran di Indonesia. Alur pelayaran yang digunakan dalam peta ini adalah alur laut kepulauan Indonesia (ALKI). Dimana pengertian ALKI menurut UU No. 6 tahun 1996 “alur laut yang dilalui oleh kapal atau pesawat udara asing di atas alur laut tersebut, untuk melaksanakan pelayaran dan penerbangan dengan cara normal semata – mata untuk transit yang terus – menerus, langsung dan secepat mungkin serta tidak terhalang melalui atau di atas perairan kepulauan dan laut teritorial yang berdampingan antara satu bagian laut lepas atau Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia dan bagian laut lepas atau Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia lainnya” . Untuk perairan – perairan yang menjadi bagian ALKI telah di atur dalam peraturan pemerintah No. 37 tahun 2002 dibagi menjadi tiga jalur yaitu ALKI – I (perairan Selat Sunda, Selat Karimata, Laut Natuna dan Laut Cina Selatan), ALKI – II (perairan Selat Lombok, Selat Makassar, dan Laut Sulawesi), ALKI – III A (perairan Laut Sawu, Selat Ombai, Laut Banda (Barat Pulau Buru) – Laut Seram (Timur Pulau Mongole) – Laut Maluku, Samudera Pasifik), ALKI – III C (perairan Laut Arafuru, Laut Banda terus ke utara ke ALKI – III A).

Berdasarkan Gambar 31, terdapat tiga ALKI dimana hal tersebut berada pada perairan – perairan yang memiliki potensi untuk gelombang laut. Sehingga untuk perairan selat Bali – NTB tidak dapat digunakan untuk pembangunan teknologi energi gelombang laut. Namun untuk perairan yang berpotensi lainnya masih dapat dilakukan pembangunan dikarenakan tidak terkena jalur ALKI yaitu perairan barat daya Sumatera, selatan Jawa, NTT, Maluku dan utara papua.

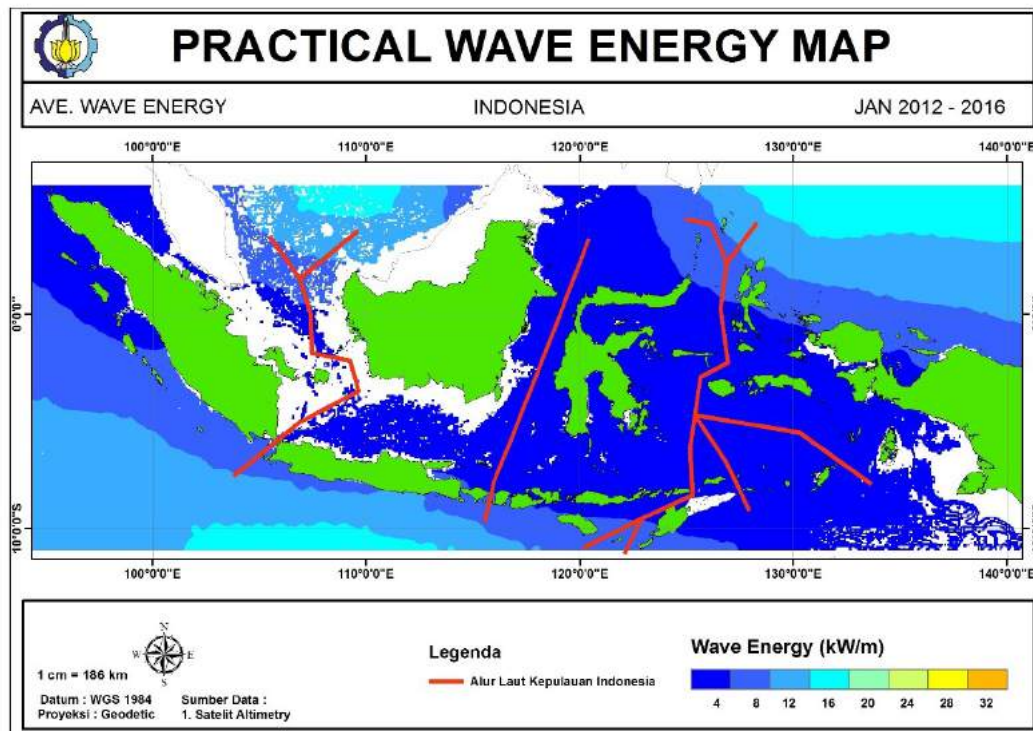
Parameter berikutnya yang perlu ditinjau dalam pemetaan praktis adalah kedalaman perairan (bathimetri). Berikut merupakan peta bathimetri Indonesia :



Gambar 32 Peta Bathimetri Indonesia

Dalam Gambar 32, terlihat bahwa kedalaman perairan di Indonesia bervariasi dimana kedalaman di dalam peta dibuat jarak dari kedalaman kurang dari 20 meter hingga kedalaman lebih dari 200 meter. Dimana terlihat dalam peta bahwa perairan Laut Jawa memiliki kedalaman perairan yang tidak begitu dalam (warna biru) sedangkan perairan selatan Jawa sangat dalam (warna merah gelap). Hal ini selanjutnya akan digunakan sebagai salah satu parameter pembuatan peta potensi praktis energi gelombang laut.

Pada pembuatan peta potensi energi gelombang praktis, dilakukan proses *overlay* atau penggabungan beberapa peta dimana energi gelombang teknis dengan kedalaman kurang dari 40 meter akan hilang dikarenakan untuk pemetaan energi gelombang praktis kedalaman yang digunakan adalah kedalaman lebih dari 40 sesuai dengan kriteria perairan lepas pantai. Hal ini sesuai dengan Lopez, et al (2013) tentang definisi perairan yang dinyatakan dengan perairan lepas pantai.



Gambar 33 Peta Energi Gelombang Praktis Bulan Januari

Berdasarkan Gambar 33, rata – rata energi gelombang di perairan Indonesia pada bulan Januari bervariasi dengan nilai energi tertinggi yaitu 32 kW/m pada bulan Juni - Agustus dan setelah dilakukan *overlay* dengan peta bathymetri terlihat jelas bahwa perairan – perairan disekitar pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua memiliki kedalaman perairan dibawah 40 meter sehingga energi yang terdapat di sekitar perairan tersebut tidak dihitung menjadi potensi praktis dikarenakan energi yang terdapat di perairan yang kurang dari 40 meter tidak termasuk energi di perairan lepas pantai. Sedangkan perairan – perairan selat yang dilalui oleh ALKI nantinya juga tidak dihitung energinya. Lokasi perairan – perairan yang berhadapan dengan samudera Hindia masih berpotensi untuk energi gelombang dikarenakan kedalaman nya lebih dari 40 meter serta tidak dilalui ALKI. Untuk pemetaan energi gelombang praktis bulan lainnya terdapat pada lampiran. Adapun lokasi – lokasi perairan di Indonesia yang sesuai dengan perhitungan potensi praktis yaitu terdapat pada Gambar 34 . Sedangkan untuk perhitungan daya, energi gelombang yang telah di *overlay* dengan bathymetri dan ALKI kemudian dikalikan dengan panjang garis

pantai Indonesia sehingga mendapatkan besaran daya untuk tahun 2012 – 2016 yang tersaji pada tabel 5



Gambar 34 Peta Potensi Energi Gelombang Praktis

Tabel 5 Potensi Energi Gelombang Praktis

Potensi Praktis (MW)	2012	2013	2014	2015	2016
	93.000	108.000	103.000	89.000	97.000

4.6 Pemetaan Energi Gelombang Terakses

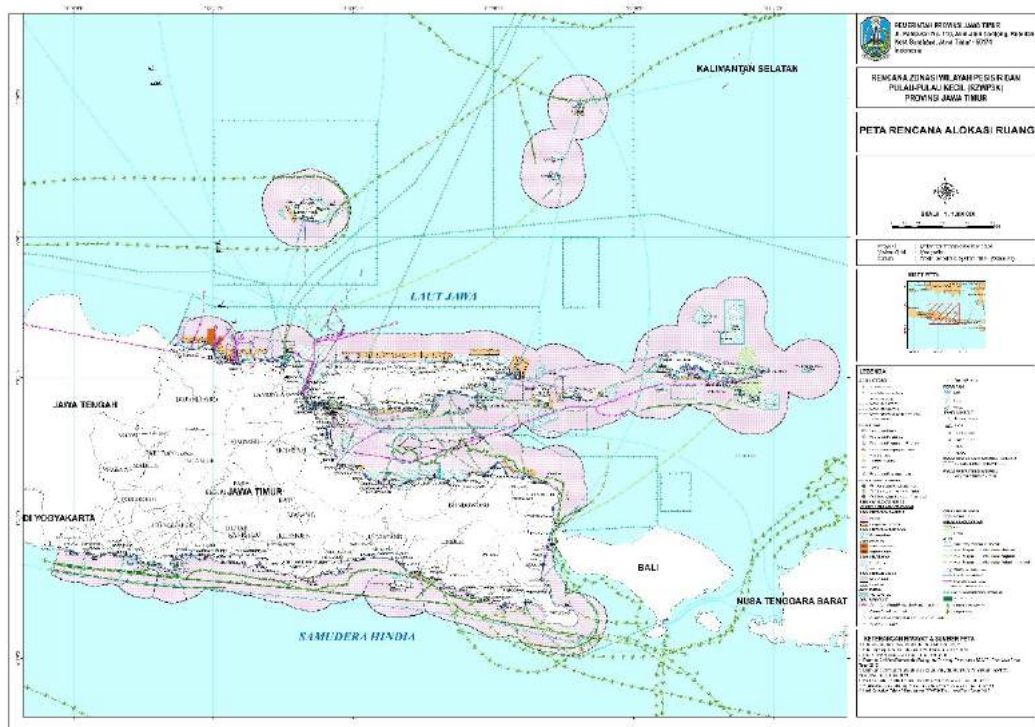
Pemetaan energi gelombang secara terakses merupakan tahap berikutnya setelah pemetaan praktis. Dalam pemetaan energi gelombang secara terakses, parameter yang digunakan adalah hal – hal yang berkaitan dengan regulasi laut yang berlaku di negara Indonesia. Hal ini nantinya dapat digunakan untuk menyeleksi lokasi – lokasi yang sebelumnya telah dipetakan secara praktis sehingga

menjadi peta terakses dimana lokasi – lokasi tersebut dibolehkan untuk digunakan untuk pengembangan energi gelombang.

Dalam pemetaan energi gelombang terakses, parameter yang digunakan penulis yaitu peraturan yang mengatur tentang zonasi laut di Indonesia. Peraturan tersebut terdapat dalam Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K). Peraturan ini diatur dalam Undang – undang Republik Indonesia nomor 32 tahun 2014 tentang Kelautan pada bab VIII. Dimana dalam peraturan itu disebutkan bahwa perencanaan ruang Laut meliputi perencanaan tata ruang Laut nasional, perencanaan zonasi wilayah pesisir dan pulau – pulau kecil dan perencanaan zonasi kawasan Laut. Peraturan lain yang mengatur tentang laut Indonesia yaitu Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 16 tahun 2017 tentang Kebijakan Kelautan Indonesia.

Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K) yang terdapat di Indonesia terdapat pada peraturan daerah pada masing – masing provinsi di Indonesia. Namun sejauh ini, RZWP3K yang telah terdapat dalam peraturan daerah provinsi sebanyak 8 provinsi dari 35 provinsi yang terdapat di Indonesia. Provinsi yang mempunyai peraturan tentang RZWP3K yaitu provinsi Sumatera Barat, provinsi Lampung, provinsi Jawa Timur, provinsi Sulawesi Utara, provinsi Sulawesi Tenggara, provinsi Sulawesi Barat, provinsi Nusa Tenggara Barat, provinsi Nusa Tenggara Timur. Dari 8 provinsi tersebut, ada beberapa wilayah perairan yang memiliki potensi energi gelombang sesuai dengan pemetaan praktis yang telah dilakukan sebelumnya, nantinya asumsi yang akan digunakan dalam sub bab ini yaitu pembahasan akan dilakukan terkait lokasi – lokasi yang telah memiliki peraturan ruang laut. Sedangkan provinsi – provinsi yang berpotensi namun belum memiliki RZWP3K, maka tidak akan dibahas untuk penentuan lokasi potensi energi gelombangnya. Serta asumsi lain yang digunakan adalah pemilihan lokasi potensi terakses terbatas hingga jarak 12 mill laut dari suatu provinsi, hal ini dikarenakan agar nantinya pengelolaan terhadap energi gelombang dilakukan oleh pemerintah daerah dan pemilihan lokasi dilakukan untuk energi gelombang yang berasal dari samudera hindia (perairan selatan) dikarenakan energi gelombangnya lebih besar jika dibandingkan di tempat lain.

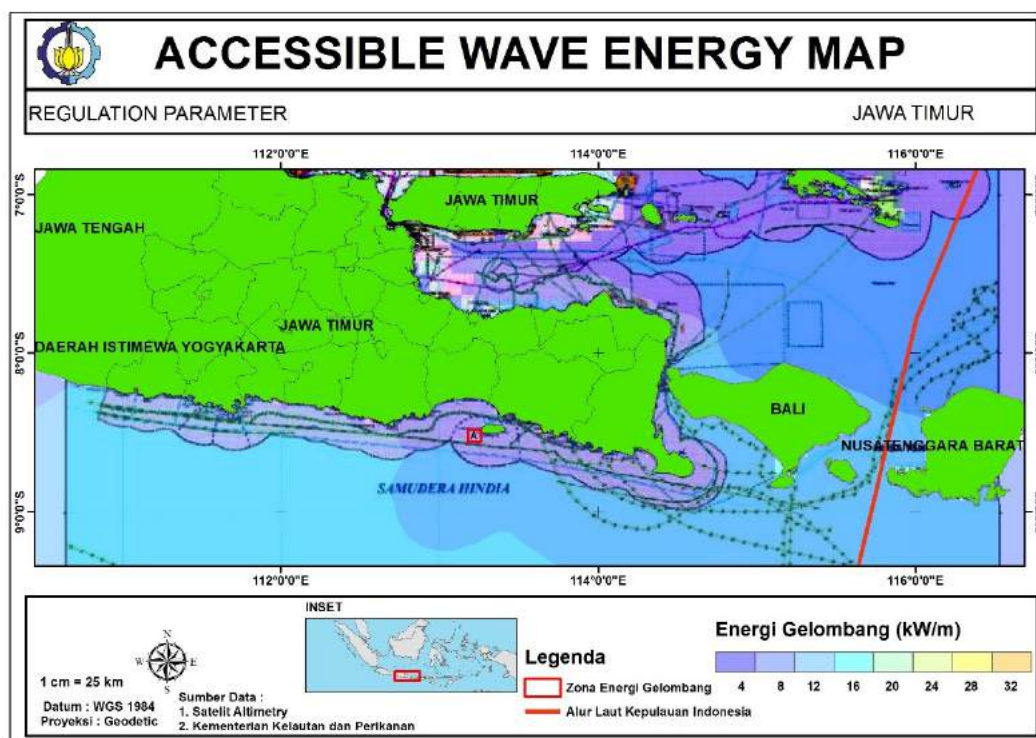
Peraturan daerah tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K) untuk Provinsi Jawa Timur terdapat pada nomor 1 tahun 2018. Dalam peraturan daerah tersebut memiliki peta terkait zona – zona perairan yang terdapat di sekitar Provinsi Jawa Timur. Dimana dalam peraturan daerah tersebut memiliki sebuah peta terkait RZWP3K. Dalam RZWP3K, perairan sekitar provinsi Jawa Timur dibagi menjadi 4 bagian yaitu Kawasan Pemanfaatan Umum (KPU), Kawasan Konservasi (KK), Kawasan Strategis Nasional Tertentu (KSNT), dan Alur Laut. Berdasarkan peraturan daerah tersebut yang dimaksud KPU merupakan kawasan yang dipergunakan untuk kepentingan ekonomi, sosial budaya seperti kegiatan perikanan, prasarana perhubungan laut, pariwisata, dan permukiman. Adapun yang dimaksud KK adalah bagian wilayah pesisir dan pulau – pulau kecil yang mempunyai ciri khas tertentu sebagai satu kesatuan ekosistem yang dilindungi, dilestarikan dan / atau dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk mewujudkan pengelolaan wilayah pesisir dan pulau – pulau kecil secara berkelanjutan.



Gambar 35 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil Provinsi Jawa Timur

Adapun yang dimaksud KSNT yaitu kawasan yang terkait dengan kedaulatan negara, pengendalian lingkungan hidup, dan/ atau situs warisan dunia, yang pengembangannya diprioritaskan bagi kepentingan Nasional. Serta yang dimaksud Alur laut adalah perairan yang dimanfaatkan, antara lain, untuk alur pelayaran, pipa/ kabel bawah laut dan migrasi biota laut pesisir dan pulau – pulau kecil secara berkelanjutan bagi berbagai sektor kegiatan.

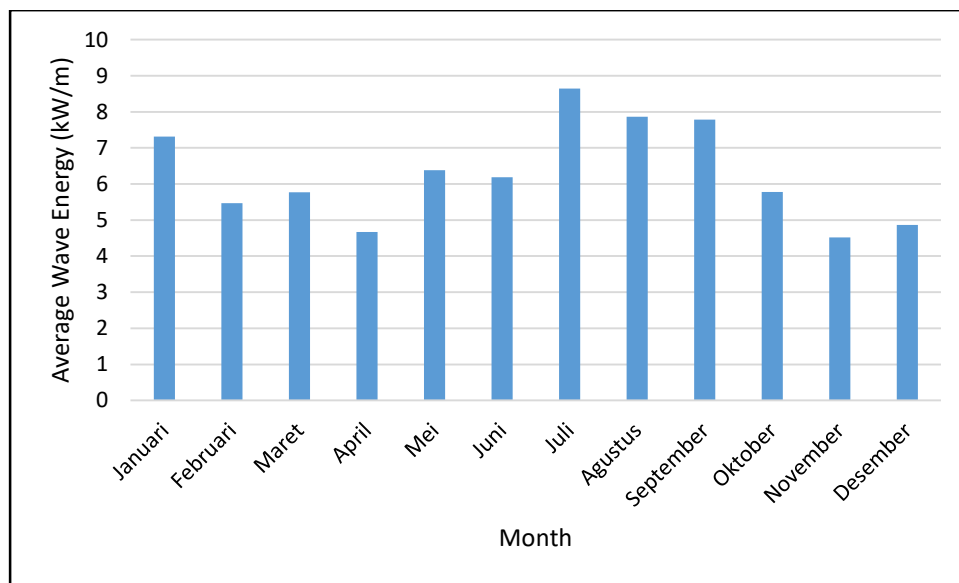
Dalam penentuan lokasi potensial untuk energi gelombang secara terakses, nantinya dilakukan proses *overlay* antara peta RZWP3K pada Gambar 35 dengan peta energi gelombang praktis Gambar 33 . Sehingga dapat dilihat lokasi – lokasi mana saja yang dapat dimanfaatkan secara terakses untuk energi gelombang di wilayah provinsi Jawa Timur.



Gambar 36 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Jawa Timur

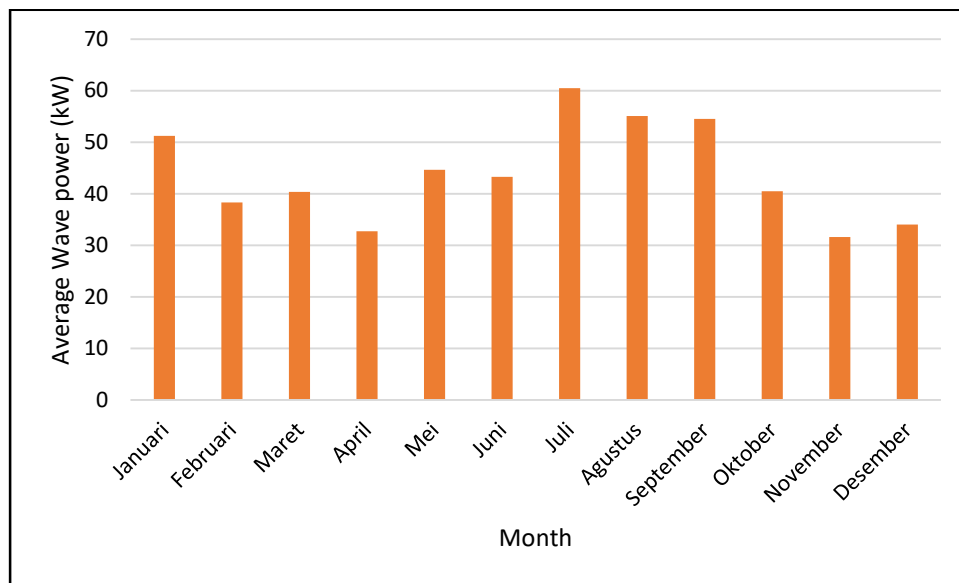
Berdasarkan penjelasan tentang zonasi – zonasi yang terdapat dalam peraturan daerah tersebut, maka pada Gambar 36 merupakan peta potensi energi gelombang terakses untuk wilayah perairan selatan Jawa Timur. Dimana garis merah yang terdapat pada peta tersebut merupakan zona energi gelombang yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan untuk energi gelombang. Hal ini berkaitan

dengan zona – zona yang terdapat pada Gambar 35 dimana perairan selatan Jawa Timur menjadi jalur migrasi biota – biota laut serta terdapat lokasi Barang Muatan Kapal Tenggelam (BMKT) dan zona – zona lainnya yang tidak memungkinkan untuk pengembangan dan pemanfaatan energi gelombang. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk zona energi gelombang yang diperbolehkan berdasarkan regulasi yang ada yaitu zona A. Berdasarkan zona A tersebut, adapun nilai rata – rata energi gelombang pada zona tersebut terdapat pada Gambar 37.



Gambar 37 Rata - rata energi gelombang Zona A Perairan Selatan Jawa Timur

Berdasarkan informasi dari Gambar 37, dapat dilihat bahwa pada perairan di zona A memiliki rata – rata energi gelombang 4,5 kW/m – 8,5 kW/m. Dimana nilai energi gelombang yang tinggi terjadi pada bulan Juli - September. Hal ini berkaitan dengan terjadinya musim hujan di perairan Indonesia sehingga tinggi gelombang yang terjadi di perairan selatan Jawa Timur juga tinggi yang mengakibatkan energi gelombangnya juga tinggi. Adapun daya yang dapat dimanfaatkan berdasarkan lokasi potensi energi gelombang di zona A yaitu terdapat pada Gambar 38.



Gambar 38 Potensi daya Zona A Perairan Selatan Jawa Timur

Berdasarkan Gambar 38, perhitungan daya yang telah dilakukan di zona A mendapatkan hasil bahwa zona A memiliki rata – rata daya dari 35 kW – 60 kW. Dimana hasil perhitungan daya sebanding dengan besarnya rata – rata energi gelombang yang terjadi di zona A tersebut, dimana garis pantai yang dapat dimanfaatkan tidak begitu panjang.

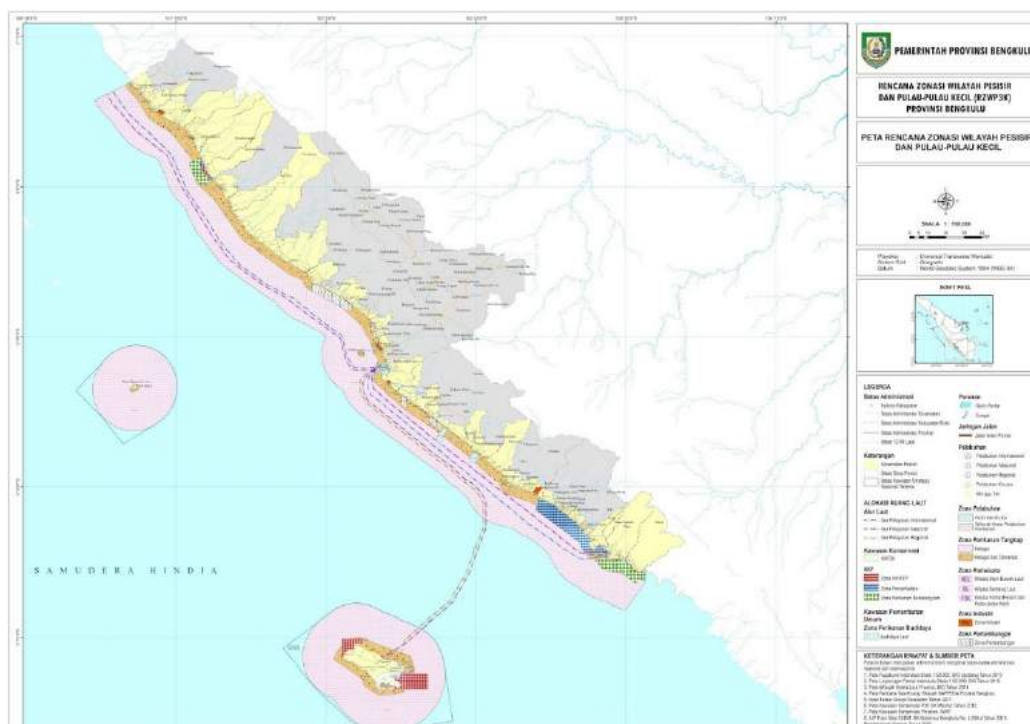
Sedangkan untuk penentuan teknologi konverter energi gelombang yang cocok untuk digunakan pada perairan selatan Jawa Timur dapat dilihat dari diagram persebaran gelombang pada perairan zona A yang terdapat pada Gambar 39

Hs (m)	Tz (s)											
	0- 1,0	1,0- 2,0	2,0- 3,0	3,0- 4,0	4,0- 5,0	5,0- 6,0	6,0- 7,0	7,0- 8,0	8,0- 9,0	9,0- 10,0	>10,0	
0- 0,5	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5- 1,0	0	0	0	0	44	83	13	0	0	0	0	0
1,0- 1,5	0	0	0	0	46	443	295	63	0	0	0	0
1,5- 2,0	0	0	0	0	0	187	225	120	41	5	0	0
2,0- 2,5	0	0	0	0	0	17	77	39	23	17	2	2
2,5- 3,0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2
> 3,0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2	0	0

Gambar 39 Diagram persebaran gelombang di perairan Zona A Jawa Timur tahun 2012 – 2016

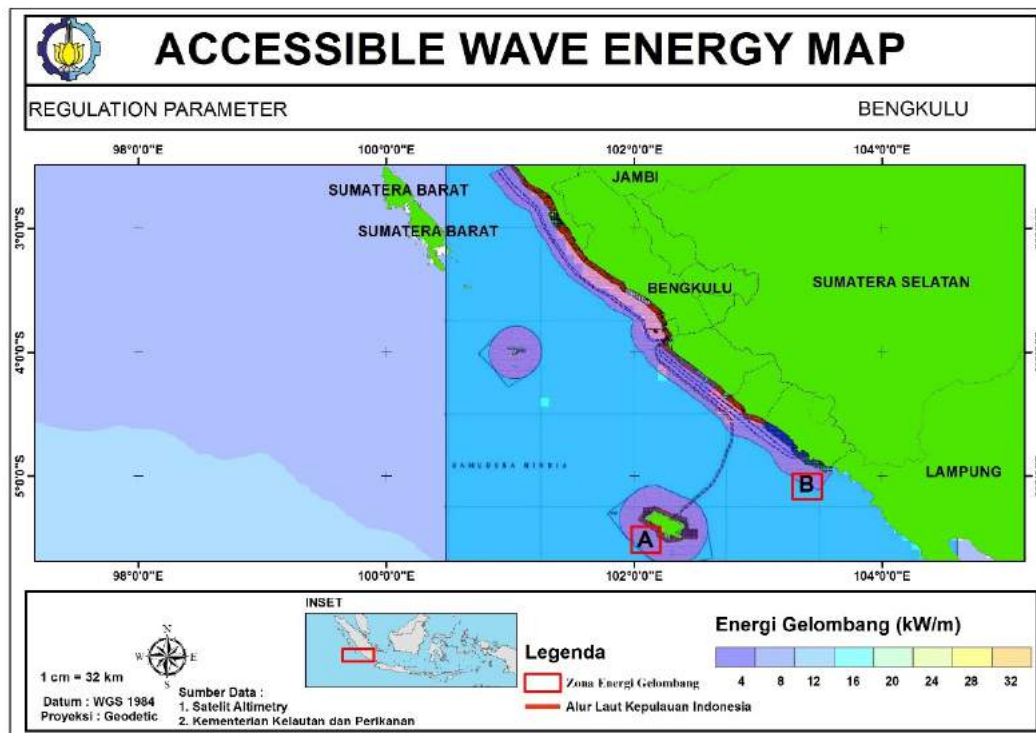
Berdasarkan diagram tersebut, maka pada perairan selatan Jawa Timur zona A dalam waktu 2012 – 2016 memiliki nilai dominan untuk tinggi gelombang

Lokasi selanjutnya yang secara potensi praktis merupakan lokasi yang berpotensi untuk pemanfaatan dan pengembangan energi gelombangnya adalah Provinsi Bengkulu. Berdasarkan draft Peta Pola Ruang yang telah disusun oleh Kementerian Kelautan Perikanan yang bekerjasama dengan lembaga – lembaga lain mengusulkan peta terkait RZWP3K di Provinsi Bengkulu. Adapun beberapa zona – zona terkait RZWP3K di Provinsi Bengkulu sesuai dengan zona – zona yang telah dijelaskan sebelumnya baik zona – zona yang tidak dapat digunakan untuk pemanfaatan energi gelombang, maupun zona – zona yang masih dapat digunakan untuk pemanfaatan energi gelombangnya. Adapun peta RZWP3K Provinsi Bengkulu sebagai berikut :



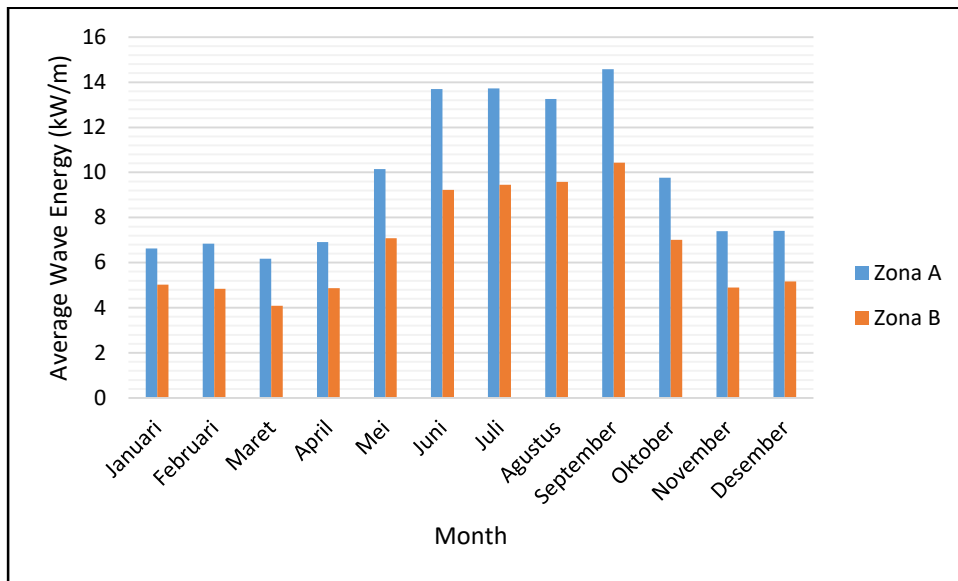
Pada Gambar 40 menunjukkan peta RZWP3K Provinsi Bengkulu. Dimana dalam peta tersebut terdapat berbagai zonasi – zonasi pada perairan Provinsi

Bengkulu. Provinsi Bengkulu memiliki sebuah pulau kecil yang berada dibagian selatan pulau Sumatera yaitu Pulau Enggano. Berdasarkan peta pada Gambar 40 menunjukkan bahwa terdapat zona Inti KKP dimana zona tersebut merupakan zona yang dilindungi sehingga zona tersebut tidak dapat dimanfaatkan baik untuk perikanan maupun untuk energi gelombang.



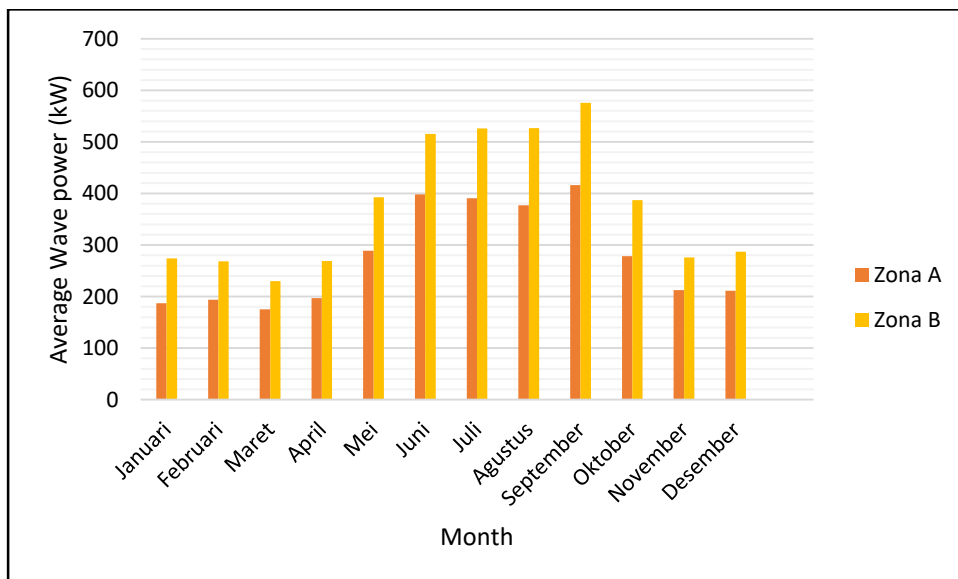
Gambar 41 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Bengkulu

Berdasarkan tentang zonasi – zonasi yang terdapat pada Gambar 40, maka pada Gambar 41 merupakan peta energi gelombang terakses untuk wilayah perairan Provinsi Bengkulu. Dimana dalam peta tersebut terdapat garis merah yang merupakan zona – zona untuk energi gelombang yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan. Hal ini berkaitan dengan zona – zona yang terdapat pada Gambar 40, dimana sebagian besar wilayah perairan Provinsi Bengkulu tidak dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang karena terdapat jalur pelayaran serta zona – zona inti KKP. Sehingga wilayah perairan yang masih dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang yaitu zona A dan B. Dimana zona A dekat dengan perairan pulau Enggano sedangkan zona B lebih dekat dengan provinsi Bengkulu yang berbatasan dengan provinsi Lampung.



Gambar 42 Rata - rata energi gelombang Zona A dan B perairan Bengkulu

Berdasarkan Gambar 42, dapat dilihat bahwa rata – rata energi gelombang yang terjadi di zona A berkisar antara 6 kW/m – 15 kW/m, sedangkan zona B berkisar antara 4 kW/m – 11 kW/m. Dimana energi gelombang yang terjadi di kedua zona tersebut memiliki pola yang sama dan memiliki energi yang tinggi pada bulan Juni – September. Hal ini dikarenakan tinggi gelombang yang terjadi di perairan tersebut cukup tinggi pada bulan – bulan tersebut dikarenakan pada bulan – bulan tersebut terjadi musim hujan di perairan Indonesia.



Gambar 43 Potensi daya Zona A dan B Perairan Bengkulu

Berdasarkan Gambar 43, dapat dilihat bahwa rata – rata daya yang terdapat di Zona A berkisar antara 190 kW – 410 kW, sedangkan Zona B rata – rata daya yang ada berkisar antara 220 kW – 580 kW. Hal ini berkaitan dengan panjang garis pantai di provinsi Bengkulu yang dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang. Dimana panjang garis pantai di zona B lebih panjang jika dibandingkan zona A, sehingga rata – rata daya yang dapat dimanfaatkan lebih besar nilainya.

Sedangkan untuk penentuan teknologi konverter energi gelombang yang cocok untuk digunakan pada perairan barat daya Bengkulu dapat dilihat dari diagram persebaran gelombang pada perairan zona A dan B yang terdapat pada Gambar 44 dan Gambar 45

Hs (m)	Tz (s)										
	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	9,0-10,0	>10,0
0-0,5	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5-1,0	0	0	0	0	11	26	2	0	0	0	0
1,0-1,5	0	0	0	0	16	158	195	63	0	0	0
1,5-2,0	0	0	0	0	0	150	322	187	74	13	0
2,0-2,5	0	0	0	0	0	12	141	117	76	44	13
2,5-3,0	0	0	0	0	0	0	22	46	22	26	11
>3,0	0	0	0	0	0	0	1	3	10	3	8

Gambar 44 Diagram persebaran gelombang di Zona A Pulau Enggano tahun 2012 - 2016

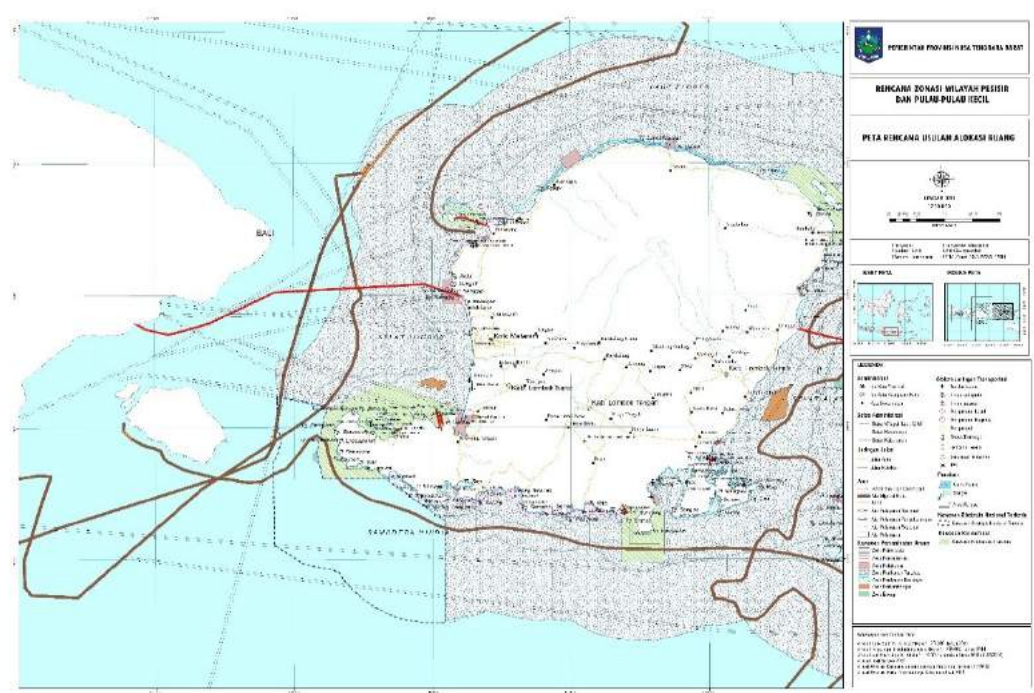
Hs (m)	Tz (s)										
	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	9,0-10,0	>10,0
0-0,5	0	0	102	3	4	0	0	0	0	0	0
0,5-1,0	0	0	0	3	84	103	20	0	0	0	0
1,0-1,5	0	0	0	0	54	337	246	76	0	0	0
1,5-2,0	0	0	0	0	2	153	208	106	79	9	0
2,0-2,5	0	0	0	0	0	6	70	57	49	31	8
2,5-3,0	0	0	0	0	0	1	8	11	7	7	6
>3,0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	0	4

Gambar 45 Diagram persebaran gelombang di Zona B Bengkulu tahun 2012 - 2016

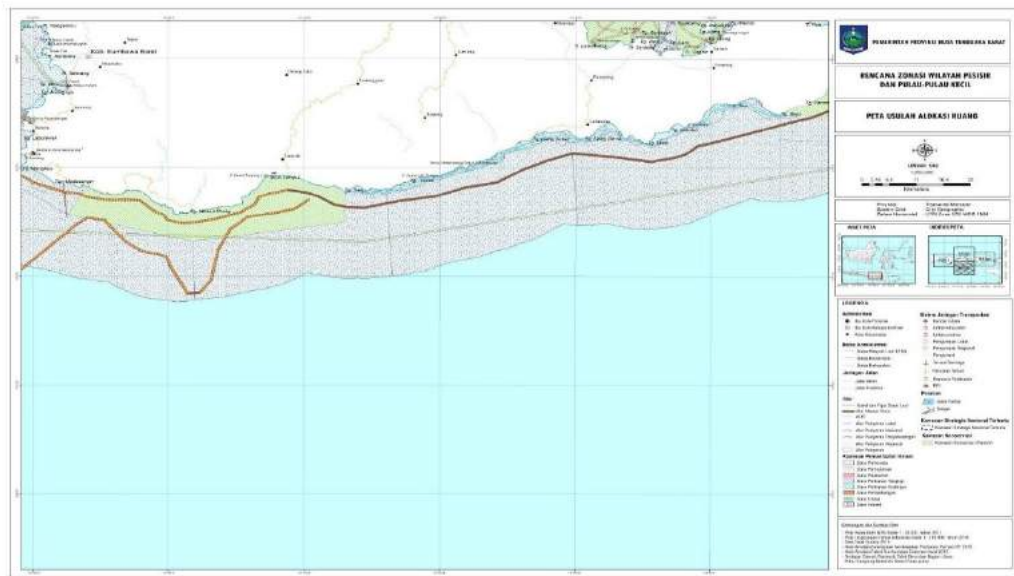
Berdasarkan diagram tersebut, maka pada perairan barat daya Bengkulu zona A dan B dalam waktu 2012 – 2016 memiliki nilai dominan untuk tinggi gelombang signifikan yaitu 1 – 2 meter dengan periode gelombang 5 – 8 detik. Jika

melihat informasi terkait power matrik teknologi konverter energi gelombang, maka teknologi yang cocok untuk dipasang di perairan zona A yaitu Pelamis dengan daya listrik yang dapat dihasilkan hingga 152 kW, sedangkan zona B lebih cocok dipasang teknologi LEANCON dengan daya listrik yang dapat dihasilkan hingga 192 kW.

Lokasi selanjutnya yang secara potensi praktis merupakan lokasi yang berpotensi untuk pemanfaatan dan pengembangan energi gelombangnya adalah Provinsi Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan peraturan daerah nomor 12 tahun 2017 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K) untuk Provinsi Nusa Tenggara Barat, maka terdapat beberapa lampiran peta untuk wilayah provinsi Nusa Tenggara Barat. Adapun beberapa zona – zona terkait RZWP3K di Provinsi Nusa Tenggara Barat yang tidak dapat digunakan untuk pemanfaatan energi gelombang, serta terdapat juga zona – zona yang masih dapat berdampingan jika energi gelombang dikembangkan kedepannya.

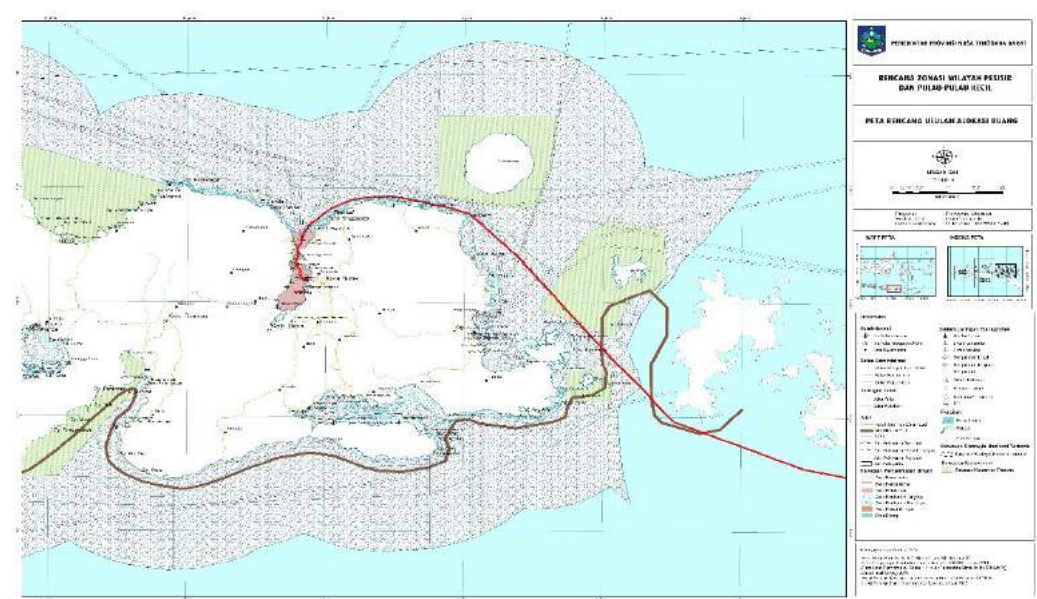


Gambar 46 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Sekitar Pulau Lombok)



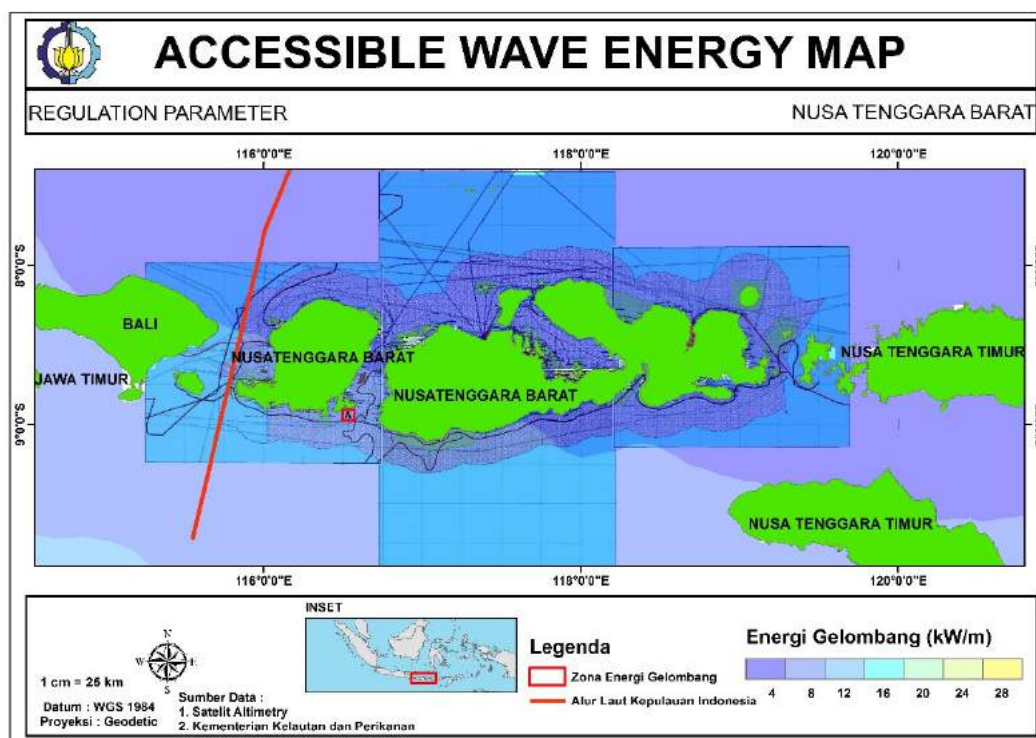
Gambar 47 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Pulau Sumbawa Bagian Barat Daya)

Berdasarkan gambar 46 – 48, dapat diketahui bahwa perairan di provinsi Nusa Tenggara Barat memiliki alur laut yang cukup padat pada pulau Lombok. Sedangkan untuk perairan di pulau Sumbawa cenderung tidak banyak alur – alur laut namun terdapat alur migrasi biota laut sehingga jika kedepannya teknologi energi gelombang di kembangkan disana akan menjadi kendala.



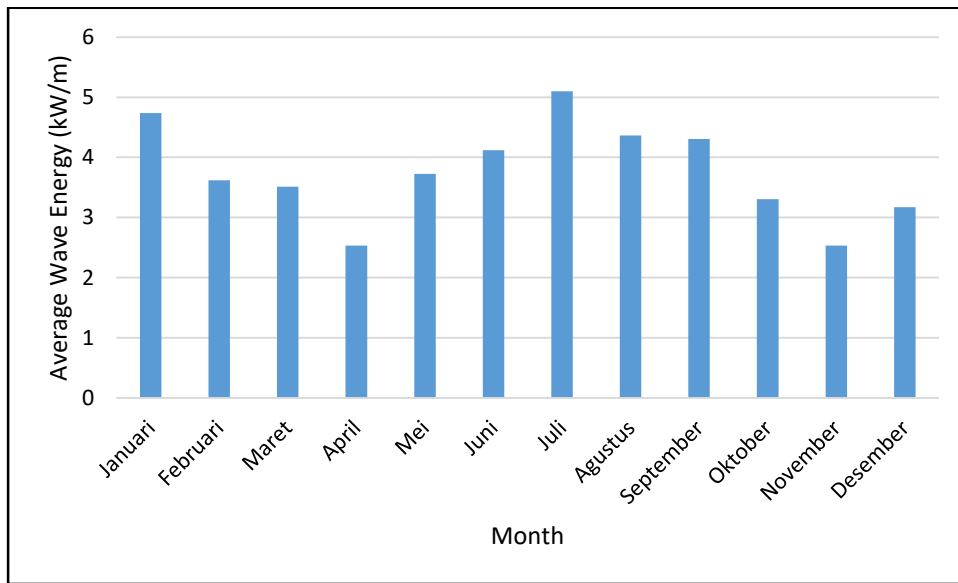
Gambar 48 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Barat (Alur Laut Perairan Pulau Sumbawa Bagian Timur)

Berdasarkan penjelasan tentang zonasi – zonasi terkait RZWP3K provinsi Nusa Tenggara Barat yang telah dijelaskan, maka pada gambar 49 merupakan peta energi gelombang terakses untuk wilayah perairan Provinsi Nusa Tenggara Barat. Di dalam peta tersebut terdapat garis merah yang merupakan zona energi gelombang yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan. Hal ini berkaitan dengan zona – zona yang telah dijelaskan pada gambar 46 – 48, dimana sebagian besar wilayah perairan provinsi Nusa Tenggara Barat tidak dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang karena terdapat alur laut dan juga alur migrasi biota.



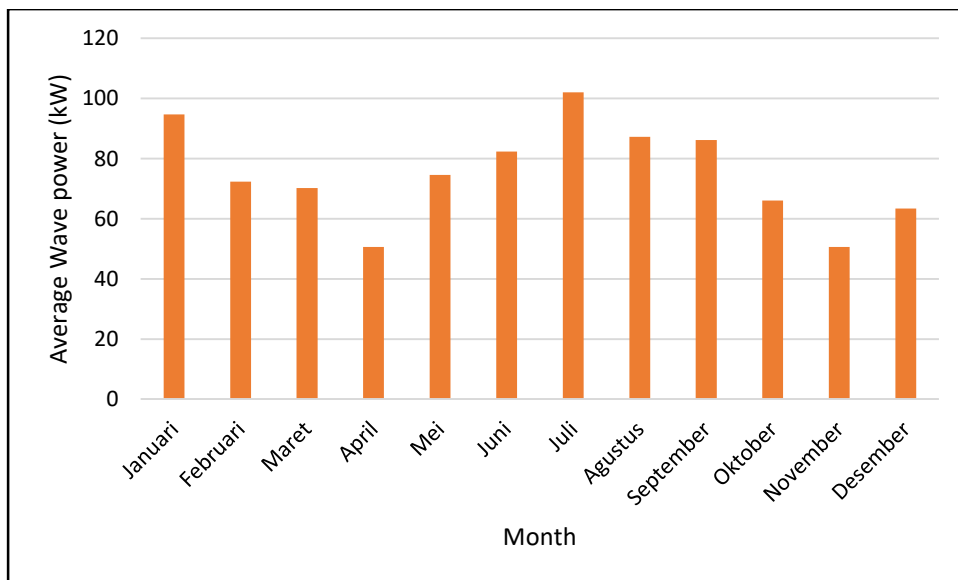
Gambar 49 Peta Energi Gelombang Terakses Provinsi Nusa Tenggara Barat

Adapun rata – rata energi gelombang yang terjadi di zona A untuk provinsi Nusa Tenggara Barat terdapat di Gambar 50 . Berdasarkan informasi tersebut, dapat diketahui jika nilai rata – rata energi gelombang di zona A yaitu 2,5 kW/m – 5,1 kW/m. Dimana energi gelombang yang tinggi terjadi pada bulan Juni – September dikarenakan pada saat tersebut terjadi musim hujan di perairan Indonesia yang mengakibatkan meningkatnya tinggi gelombang di perairan Indonesia.



Gambar 50 Rata – rata Energi Gelombang Zona A perairan Nusa Tenggara Barat

Sedangkan untuk perhitungan rata – rata daya di perairan Zona A Nusa Tenggara Barat, terdapat pada Gambar 51. Dimana nilai dayanya berkisar antara 50 kW – 100 kW. Hal ini terkait dengan rata – rata energi yang terdapat pada Zona A serta panjang garis pantai yang dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang.



Gambar 51 Potensi daya Zona A Perairan Nusa Tenggara Barat

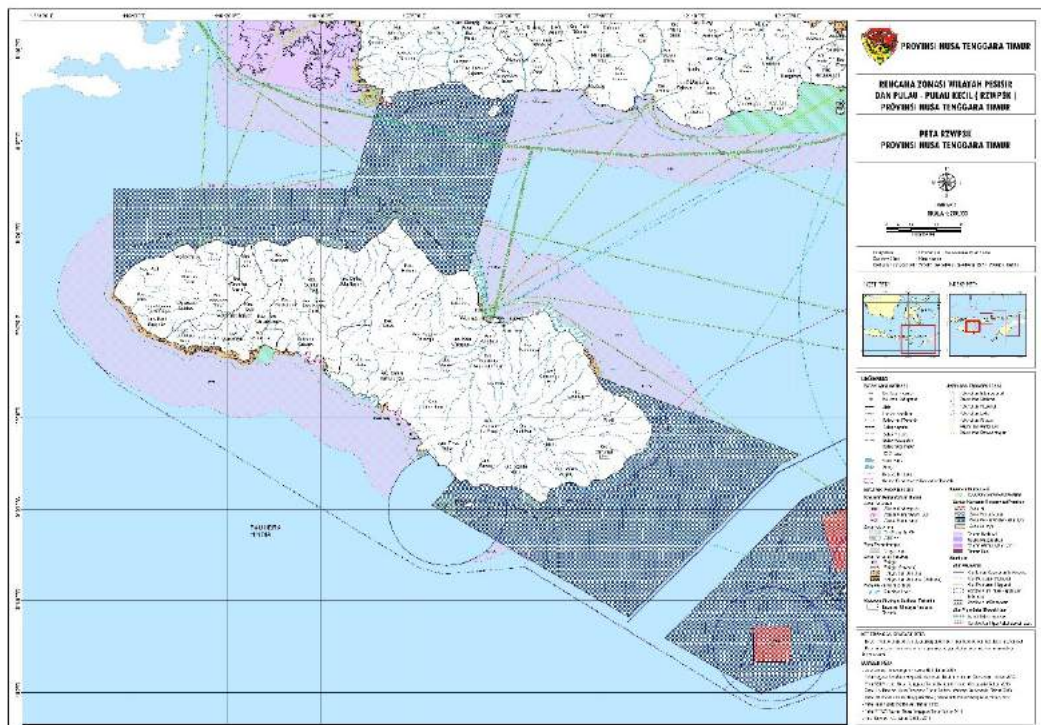
Lalu untuk penentuan teknologi konverter energi gelombang yang cocok untuk digunakan pada perairan selatan Nusa Tenggara Barat dapat dilihat dari diagram persebaran gelombang pada perairan zona A yang terdapat pada Gambar 52

Hs (m)	Tz (s)										
	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	9,0-10,0	>10,0
0-0,5	0	0	88	0	4	0	0	0	0	0	0
0,5-1,0	0	0	0	2	233	225	18	0	0	0	0
1,0-1,5	0	0	0	0	129	564	228	41	0	0	0
1,5-2,0	0	0	0	0	2	110	91	45	22	1	0
2,0-2,5	0	0	0	0	0	10	16	8	10	2	0
2,5-3,0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	1	0
>3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Gambar 52 Diagram persebaran gelombang di Zona A NTB tahun 2012 - 2016

Berdasarkan diagram tersebut, maka pada perairan selatan Nusa Tenggara Barat zona A dalam waktu 2012 – 2016 memiliki nilai dominan untuk tinggi gelombang signifikan yaitu 0,5 – 1,5 meter dengan periode gelombang 5 – 7 detik. Jika melihat informasi terkait power matrik teknologi konverter energi gelombang, maka teknologi yang cocok untuk dipasang di perairan zona A yaitu RM5 OSWEC dengan daya listrik yang dapat dihasilkan hingga 45 kW.

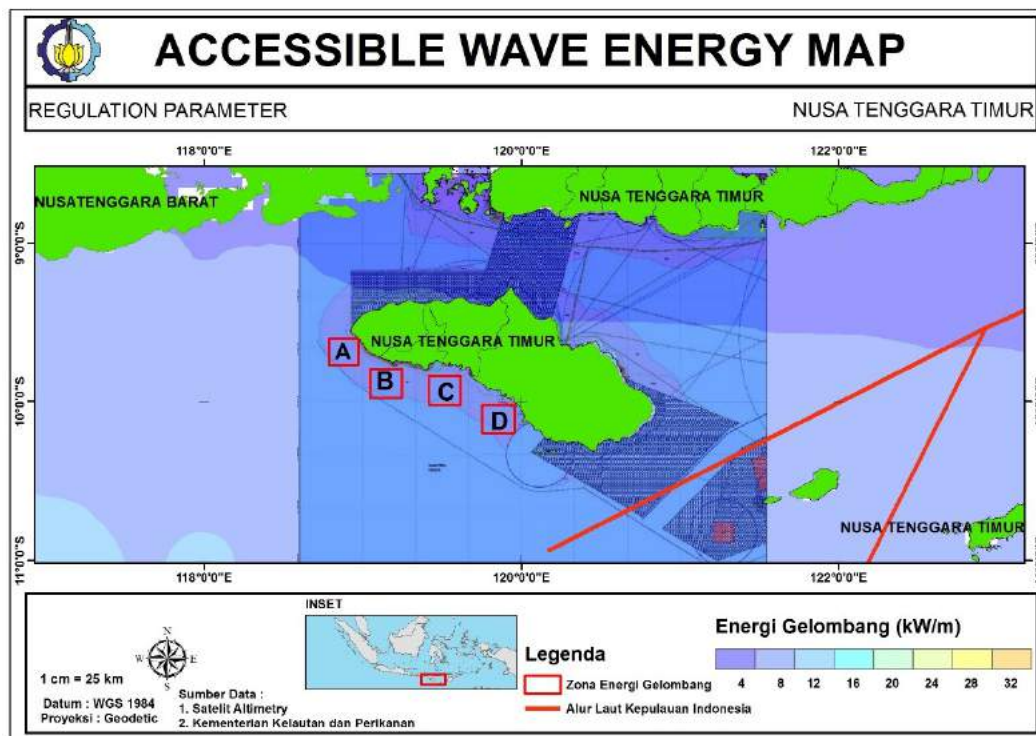
Lokasi berikutnya yang secara potensi praktis merupakan lokasi yang berpotensi untuk pemanfaatan dan pengembangan energi gelombangnya adalah Provinsi Nusa Tenggara Timur. Berdasarkan peraturan daerah nomor 4 tahun 2017 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil (RZWP3K) untuk Provinsi Nusa Tenggara Timur, maka terdapat beberapa lampiran peta untuk wilayah provinsi Nusa Tenggara Timur. Adapun beberapa zona – zona terkait RZWP3K di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang tidak dapat digunakan untuk pemanfaatan energi gelombang, serta terdapat juga zona – zona yang masih dapat berdampingan jika energi gelombang dikembangkan kedepannya.



Gambar 53 Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil Provinsi Nusa Tenggara Timur (Alur Laut Perairan Pulau Sumba)

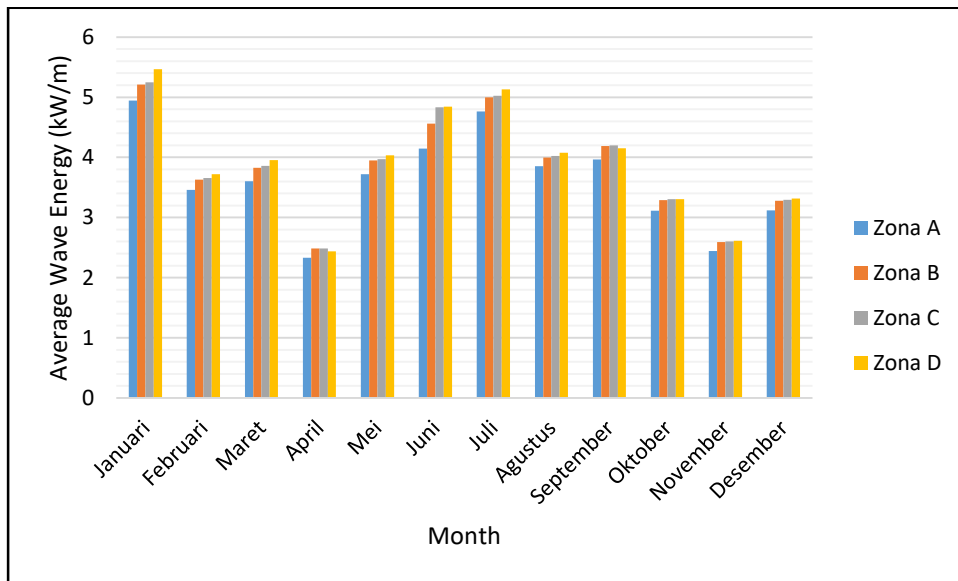
Berdasarkan Gambar 53, dapat diketahui bahwa perairan di selatan pulau Sumba memiliki alur laut yang tidak begitu padat pada kabupaten Sumba Barat dan Sumba Barat Daya, namun untuk kabupaten Sumba Timur terdapat Kawasan Zona Militer. Hal ini membuat lokasi di kabupaten Sumba Timur tidak dapat digunakan untuk pemanfaatan energi gelombang laut nya. Sehingga kabupaten Sumba Barat dan Sumba Barat Daya saja yang dapat dimanfaatkan meskipun terdapat sedikit zona konservasi di sekitar perairan selatan pulau Sumba tersebut.

Berdasarkan penjelasan tentang zona – zona terkait RZWP3K pulau Sumba yang telah dijelaskan, maka pada gambar 54 merupakan peta energi gelombang terakses untuk wilayah perairan pulau Sumba. Dimana dalam peta tersebut terdapat garis merah yang merupakan zona energi gelombang yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan. Hal ini berkaitan dengan zona – zona dalam RZWP3K, dimana untuk perairan selatan kabupaten Sumba Barat dan Sumba Barat Daya masih dapat dimanfaatkan energi gelombang nya.



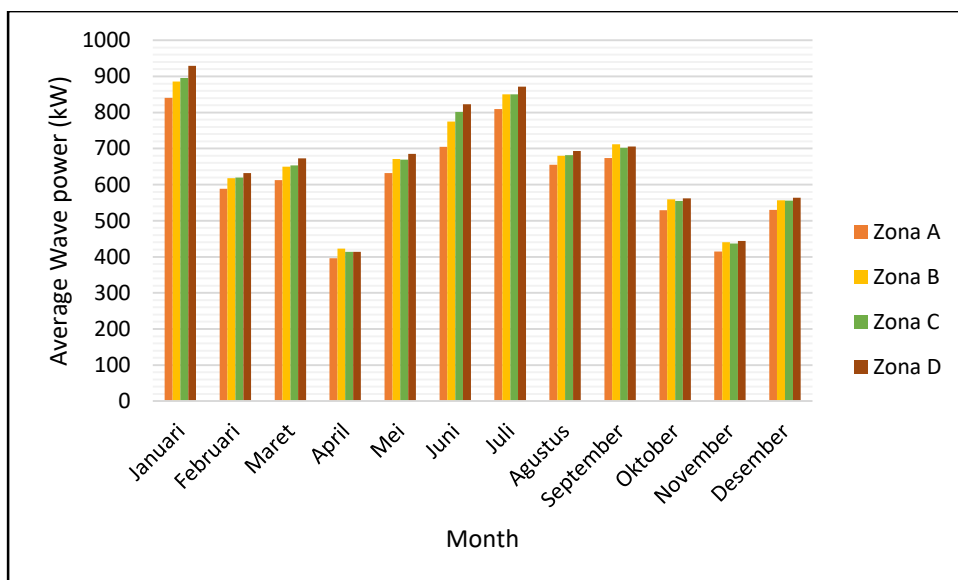
Gambar 54 Peta Energi Gelombang Terakses Pulau Sumba

Adapun rata – rata energi gelombang yang terjadi di zona A – D untuk pulau Sumba yang terdapat pada gambar 55. Berdasarkan informasi tersebut, dapat diketahui bahwa nilai rata – rata energi gelombang di Zona A – D berkisar antara 2,5 kW/m – 5,5 kW/m. Dimana energi gelombang yang tinggi terjadi pada bulan Juni, Juli dan Januari dikarenakan pada saat tersebut terjadi musim hujan di perairan Indonesia yang mengakibatkan meningkatnya tinggi gelombang di perairan Indonesia.



Gambar 55 Rata - rata energi gelombang Zona A - D perairan Pulau Sumba

Sedangkan untuk perhitungan rata – rata daya di perairan zona A – D pulau Sumba, terdapat pada gambar 56. Dimana nilai dayanya berkisar antara 400 kW – 930 kW. Hal ini terkait dengan rata – rata energi gelombang yang terdapat pada zona A – D serta panjang garis pantai yang dapat dimanfaatkan untuk energi gelombang.



Gambar 56 Potensi daya Zona A - D Perairan pulau Sumba

Lalu untuk penentuan teknologi konverter energi gelombang yang cocok untuk digunakan pada perairan barat daya Sumba dapat dilihat dari diagram persebaran gelombang pada perairan zona A yang terdapat pada Gambar 57

Hs (m)	Tz (s)											
	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	9,0-10,0	>10,0	
0-0,5	0	0	68	1	3	0	0	0	0	0	0	0
0,5-1,0	0	0	0	3	251	262	18	0	0	0	0	0
1,0-1,5	0	0	0	0	116	551	233	28	0	0	0	0
1,5-2,0	0	0	0	0	0	100	86	51	19	2	0	0
2,0-2,5	0	0	0	0	0	11	21	9	12	1	0	0
2,5-3,0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	3	0	0
>3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0

Gambar 57 Diagram persebaran gelombang di Zona A - D tahun 2012 - 2016

Berdasarkan diagram tersebut, maka pada perairan barat daya Sumba zona A - D dalam waktu 2012 – 2016 memiliki nilai dominan untuk tinggi gelombang signifikan yaitu 0,5 – 1,5 meter dengan periode gelombang 5 – 7 detik. Jika melihat informasi terkait power matrik teknologi konverter energi gelombang, maka teknologi yang cocok untuk dipasang di perairan zona A - D yaitu RM5 OSWEC dengan daya listrik yang dapat dihasilkan hingga 45 kW.

Adapun peta potensi energi gelombang secara terakses terdapat pada Gambar 58 . Berdasarkan informasi tersebut, maka perairan di Indonesia memiliki 4 lokasi potensial untuk energi gelombang yaitu di perairan selatan Provinsi Bengkulu, perairan selatan Provinsi Jawa Timur, perairan selatan Provinsi Nusa Tenggara Barat dan perairan selatan pulau Sumba. Sedangkan untuk daya energi gelombang secara terakses terdapat pada Tabel 6. Dari informasi tersebut maka rata – rata energi gelombang yang dapat dikembangkan yaitu sekitar 2,2 megawatt – 4,1 megawatt



Gambar 58 Peta Potensi Energi Gelombang Teraksres

Tabel 6 Potensi energi gelombang teraksres

	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potensi Teraksres (MW)	4,1	3	3,1	2,2	3,4	4,1	4,4	3,7	3,9	2,9	2,2	2,8

4.7 Pemetaan Energi Gelombang Layak Dikembangkan

Pemetaan energi gelombang secara layak dikembangkan merupakan tahap berikutnya setelah pemetaan teraksres. Dalam pemetaan energi gelombang secara layak dikembangkan, parameter yang digunakan adalah hal – hal yang berkaitan dengan keekonomian yang digunakan untuk menentukan kelayakan sebuah lokasi potensi energi untuk dikembangkan selanjutnya. Hal ini nantinya dapat digunakan untuk menyeleksi lokasi – lokasi yang sebelumnya telah dipetakan secara teraksres sehingga menjadi peta layak dikembangkan dimana lokasi – lokasi tersebut

dibolehkan untuk digunakan untuk pengembangan energi gelombang secara ekonomi.

Dalam pemetaan energi gelombang layak dikembangkan, parameter – parameter yang digunakan adalah parameter harga energi gelombang yang telah ditetapkan oleh lembaga energi terbarukan di dunia *International Energy Agency* (IEA) per satuan (EUR/MWh), parameter Biaya Pokok Penyediaan (BPP) yang telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia, parameter kebutuhan listrik provinsi, serta jaringan infrastruktur listrik yang telah tersedia. Adapun batasan yang digunakan dalam pemetaan energi gelombang layak dikembangkan yaitu, harga listrik yang digunakan yaitu harga listrik untuk energi gelombang berdasarkan yang telah didirikan sebelumnya, sehingga tidak menghitung *Coefisien Factor* (CF), *Capital Expenditure* (CAPEX), *Operational Expenditure* (OPEX).

Berdasarkan review yang dilakukan oleh *International Renewable Energy Agency* (IRENA) pada tahun 2014, didapatkan perkiraan harga jual listrik untuk energi gelombang di dunia dari 2010 – 2050 berdasarkan beberapa instansi – instansi yang mengurus terkait energi gelombang di dunia. Review tersebut terdapat pada berikut :

Tabel 7 Nilai Operasional Energi Gelombang

	Sumber	2010 – 2012	2020	2030	2050
<i>Capital cost of farms</i> (EUR/kW)	IEA	5650	4070	3350	1750
	UK	5000 – 9000	3000 - 5000		2500 - 3000
	ETI ^a / UKERC	4840 – 9680	2723 - 4235	2118 - 2723	1513 - 2118
<i>Operation & Maintenance</i> <i>cost</i> (EUR/kW/tahun)	IEA	86 (diproyeksikan menjadi 47)			
	ETI/ UKERC	48 - 97	30 - 73	18 - 30	12 – 24
<i>Availability</i> (%)	UK	75 - 85		90	90 – 95
	ETI/ UKERC	70 - 80	90	90 - 95	95 – 98
<i>Array load factor</i> (%)	ETI/ UKERC	25 - 35	32 - 40	35 - 42	37 – 45
<i>Total electricity production</i> <i>cost</i> (EUR/MWh)	IEA	286	207	172	
	UK	213 – 500		113 – 226	88 – 125
	ETI/ UKERC	242 – 605	121 - 242	85 – 121	61 – 97
<i>Average levelised cost of</i> <i>energy per MWh</i>	E&Y	505	268	148	108
	SI Ocean	330 – 630 ^b	280 – 350 ^c	150 – 180 ^d	
<i>EU Market share, % of</i> <i>global electricity output</i>	JRC	0	< 1	-1-2	> 10
<i>Emissions (direct operation)</i>	JRC	0			
<i>Emissions indirect (as</i> <i>manufacturing, fabrication,</i> <i>installation, maintenance</i> <i>and commissioning)</i>	JRC	25 – 50 gram/kWh (konverter energi gelombang dari 665 ton besi dan produksi 2,3 gigawatt – jam – per tahun – GWh/yr)			

Keterangan :

^a Target roadmap dari ETI/UKERC diaplikasikan untuk energi pasang surut dan gelombang. Nilai tukar yang digunakan : 1,21 EUR/ Produk Domestik Bruto (PDB)

^b Estimasi untuk jarak awal

^c Asumsi rata – rata pemasangan untuk 100 MW

^d Asumsi rata – rata pemasangan sekitar 5 GW

IEA = *International Energy Agency*

ETI / UKERC = *Energy Technology Institute / UK Energy Research Centre*

JRC = *Joint Research Centre*

Berdasarkan informasi yang terdapat pada Tabel 7 tentang operasional energi gelombang, maka untuk biaya total produksi listrik energi gelombang berdasarkan beberapa sumber yaitu berkisar antara 121 – 242 Euro/ MWh pada tahun 2020 atau jika di ubah menjadi rupiah dengan nilai tukar yang digunakan adalah 1 Euro = Rp 16.462 (25 Juni 2018) maka akan bernilai Rp 1.991.986 – Rp 3.983.973 / MWh atau Rp 1.991 – Rp 3.983 / kWh. Informasi terkait harga listrik energi gelombang ini menjadi acuan yang akan dibandingkan dengan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) yang telah ditetapkan untuk menentukan sebuah lokasi tersebut layak dikembangkan energi gelombang nya atau tidak.

Menurut keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia nomor 1772 K/20/MEM/2018 tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) pada tahun 2017, menyatakan bahwa setiap provinsi di Indonesia memiliki harga listrik yang berbeda – beda. Hal ini terkait dengan banyak faktor yang mempengaruhi. Dalam thesis ini, provinsi – provinsi yang akan dikaji untuk pemetaan layak dikembangkan energi gelombang adalah Provinsi Bengkulu, Provinsi Jawa Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat dan Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Tabel 8 Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan Tahun 2017

No	Wilayah / Distribusi / Sistem / Sub Sistem	BPP Pembangkitan	
		(Rp/kWh)	(cent US\$/kWh)
1	Sumatera Selatan, Jambi, Bengkulu (S2JB)	961	7,18
1.a	Pulau Enggano	2.677	20,00
2	Jawa Timur	914	6,83
2.a	Madura Isolated	2.677	20,00
2.b	Bawean	1.699	12,69
2.c	Gili Ketapang	2.677	20,00
3	Nusa Tenggara Barat		
3.a	Tambora (Bima dan Sumbawa)	2.239	16,73
3.b	Lombok	1.861	13,90
4	Nusa Tenggara Timur		
4.a	Sumba	2.275	17,00
4.b	Timor	2.421	18,09
4.c	Flores Bagian Barat	2.372	17,72
4.d	Flores Bagian Timur	2.207	16,49

Keterangan :

*) Dihitung dengan menggunakan nilai tukar kurs tengah Bank Indonesia rata – rata tahun 2017 : Rp 13.383 / US\$

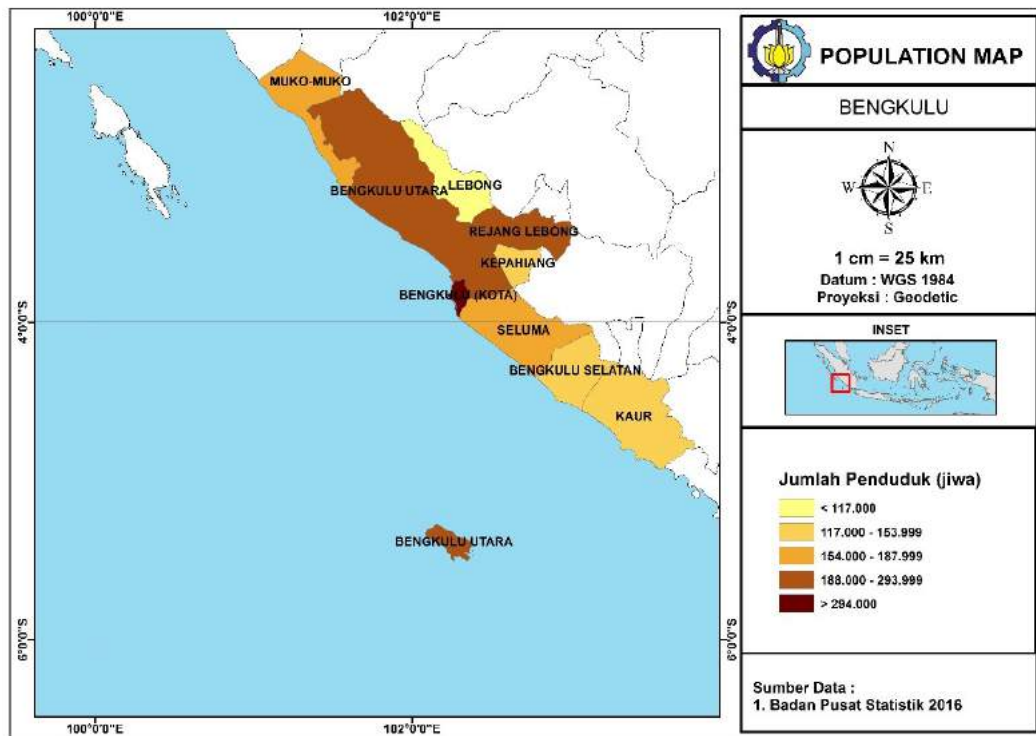
Berdasarkan informasi dari Tabel 8 terkait Biaya Pokok Penyediaan (BPP), maka dapat dilihat jika dibandingkan dengan harga produksi listrik untuk energi gelombang yang terdapat pada Tabel 7, energi gelombang dapat dikembangkan pada pulau Enggano, Madura Isolated, Gili Ketapang, Tambora, Sumba, Timor, Flores bagian barat dan Flores bagian timur. Namun melihat hasil pemetaan terakses terkait potensi energi gelombang, maka lebih memungkinkan untuk dikembangkan terkait energi gelombang di perairan pulau Enggano. Hal ini dikarenakan lokasi potensi energi gelombang di perairan provinsi Bengkulu lebih dekat jika dibandingkan dengan lokasi potensi energi gelombang di perairan provinsi Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat yang letaknya di kabupaten Jember untuk Provinsi Jawa Timur dan kabupaten Lombok Timur untuk provinsi Nusa Tenggara Barat. Jika BPP di ubah menjadi rupiah dengan nilai tukar yang digunakan adalah 1 US\$ = Rp 14.137 (25 Juni 2018) maka BPP untuk lokasi – lokasi yang dari segi harga masuk dalam harga jual energi gelombang di dunia akan disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 9 Informasi BPP tahun 2017 dan Permen ESDM 50 tahun 2017

No	Wilayah / Distribusi / Sistem / Sub Sistem	BPP Pembangkitan		Permen ESDM
		(Rp/kWh)	(cent US\$/kWh)	(Rp/kWh)
1	Pulau Enggano	2.827	20,00	2.402
2	Madura Isolated	2.827	20,00	2.402
3	Gili Ketapang	2.827	20,00	2.402
4	Tambora (Bima dan Sumbawa)	2.365	16,73	2.010
5	Sumba	2.403	17,00	2.042
6	Timor	2.557	18,09	2.173
7	Flores Bagian Barat	2.505	17,72	2.129
8	Flores Bagian Timur	2.331	16,49	1.981

Namun, dalam hal pembelian tenaga listrik yang berasal dari energi terbarukan termasuk energi gelombang laut, pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menerapkan harga pembelian yang diatur dalam peraturan menteri ESDM nomor 50 tahun 2017. Dalam peraturan tersebut menyatakan bahwa harga pembelian yang berasal dari energi terbarukan dikenakan harga paling besar 85% dari Biaya Pokok Penyediaan (BPP) yang telah ditetapkan pemerintah. Sehingga, berdasarkan informasi pada Tabel 9 maka daerah – daerah tersebut masih masuk dalam kriteria harga jual energi gelombang dimana untuk tahun 2020 minimal harga jual energi gelombang adalah Rp. 1.991 / kWh.

Parameter berikutnya yang akan dibahas dalam sub bab ini adalah parameter kebutuhan tenaga listrik provinsi. Parameter ini mengacu pada Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) tahun 2016 – 2025. Dalam RUPTL tersebut, tenaga listrik dijual untuk kelompok pelanggan rumah tangga, komersil, publik serta industri. Informasi terkait kebutuhan listrik disajikan dalam Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13 . Untuk kebutuhan tenaga listrik Provinsi Bengkulu yang diproyeksikan untuk tahun 2016 – 2025 mengalami peningkatan tiap tahun nya. Hal ini dilihat dari beban puncak yang terjadi dari 2016 – 2025 mengalami peningkatan sebesar 10,2%. Dimana jumlah pelanggan terbanyak berasal dari kota Bengkulu. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 59 dimana jumlah penduduk untuk kota Bengkulu terdapat lebih dari 294.000 jiwa pada tahun 2016. Sehingga kemungkinan besar jumlah pelanggan listrik terbanyak di provinsi Bengkulu terdapat pada kota Bengkulu. Untuk kecamatan Enggano yang perairan selatan nya memiliki potensi energi gelombang terdapat jumlah penduduk sebesar 3.152 jiwa pada tahun 2016.

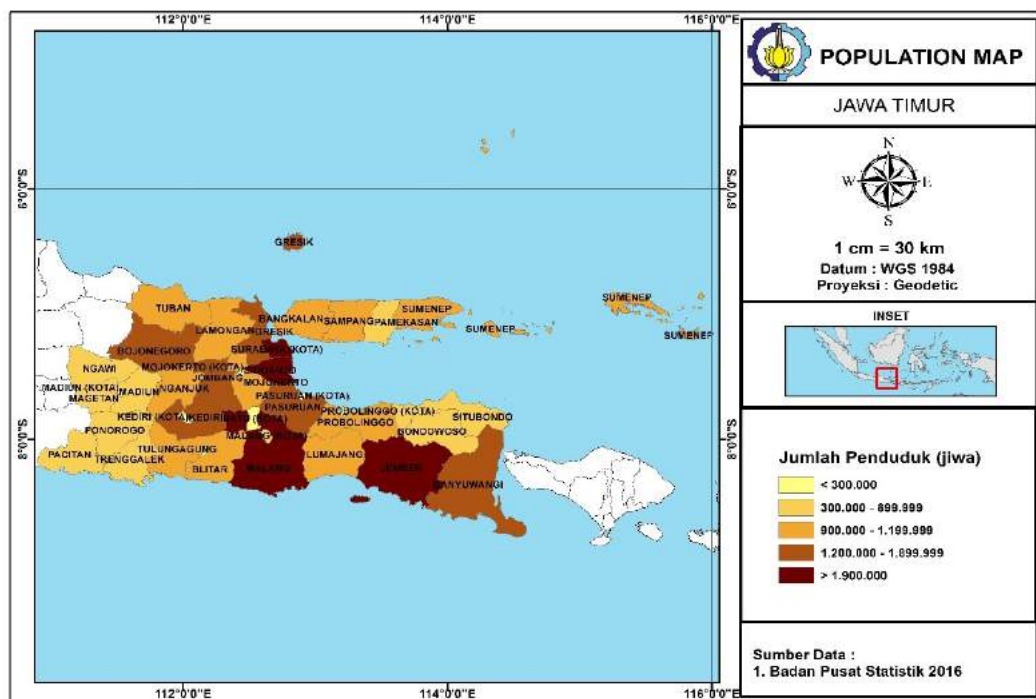


Gambar 59 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Bengkulu Tahun 2016

Tabel 10 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Bengkulu

Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Sales (GWh)	Produksi (GWh)	Beban Puncak (MW)	Pelanggan
2016	7,1	942	1.055	217	455.995
2017	7,6	1.063	1.188	242	478.704
2018	8,1	1.201	1.340	271	500.996
2019	8,6	1.362	1.517	304	523.068
2020	6,9	1.519	1.689	335	545.208
2021	6,9	1.678	1.861	366	557.506
2022	6,9	1.849	2.047	400	567.837
2023	6,9	2.036	2.252	436	578.283
2024	6,9	2.241	2.476	475	588.813
2025	6,9	2.465	2.724	518	599.499
Growth	7,3%	11,3%	11,1%	10,2%	3,1%

Sedangkan untuk provinsi Jawa Timur, juga terjadi peningkatan kebutuhan listrik selama 2016 – 2025. Hal ini dilihat dari kenaikan beban puncak untuk provinsi Jawa Timur selama 2016 – 2025 dengan peningkatan sebesar 8,32%. Dimana jumlah pelanggan terbanyak terdapat pada kota Surabaya, Sidoarjo, Malang dan kabupaten Jember. Hal ini berdasarkan Gambar 60 dimana jumlah penduduk di kota dan kabupaten tersebut lebih dari 1.900.000 jiwa pada tahun 2016. Sehingga kemungkinan besar jumlah pelanggan listrik terbanyak di Provinsi Jawa Timur terdapat pada kota dan kabupaten tersebut.

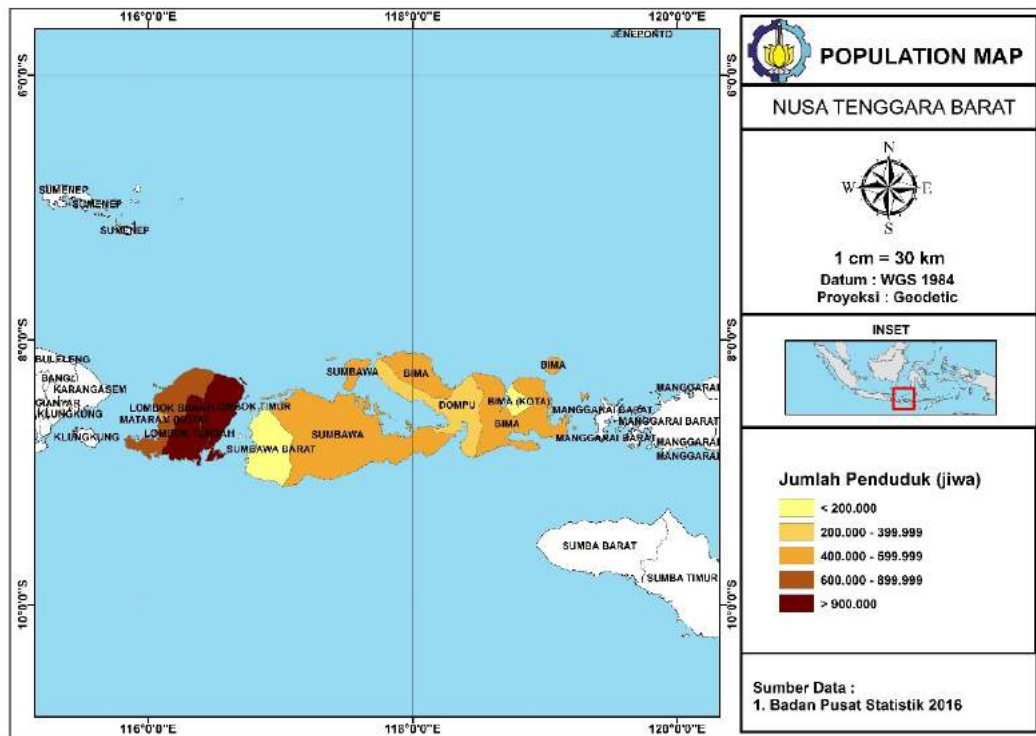


Gambar 60 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Timur Tahun 2016

Tabel 11 Proyeksi Kebutuhan Listrik Provinsi Jawa Timur

Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Sales (GWh)	Produksi (GWh)	Beban Puncak (MW)	Pelanggan
2016	7,70	33.242	35.248	4.968	10.531.166
2017	8,29	37.102	39.303	5.532	10.880.814
2018	8,75	40.355	42.713	6.003	11.231.693
2019	9,34	44.016	46.543	6.533	11.582.698
2020	7,47	47.481	50.160	7.030	11.933.567
2021	7,47	51.257	54.097	7.572	12.006.121
2022	7,47	55.280	58.294	8.148	12.074.797
2023	7,47	59.698	62.920	8.782	12.140.604
2024	7,47	64.496	67.940	9.469	12.203.551
2025	7,47	69.546	73.260	10.197	12.262.647
Growth	7,89%	8,55%	8,47%	8,32%	1,71%

Sedangkan untuk provinsi Nusa Tenggara Barat, juga terjadi peningkatan kebutuhan listrik selama 2016 – 2025. Hal ini dilihat dari kenaikan beban puncak untuk provinsi Nusa Tenggara Barat selama periode 2016 – 2025 dengan peningkatan sebesar 7,6%. Dimana jumlah pelanggan terbanyak terdapat pada kabupaten Lombok Timur dan Lombok Tengah. Hal ini berdasarkan Gambar 61 dimana jumlah penduduk di kabupaten tersebut lebih dari 900.000 jiwa pada tahun 2016. Sehingga kemungkinan besar jumlah pelanggan listrik terbanyak di Provinsi Nusa Tenggara Barat terdapat pada kabupaten – kabupaten tersebut.

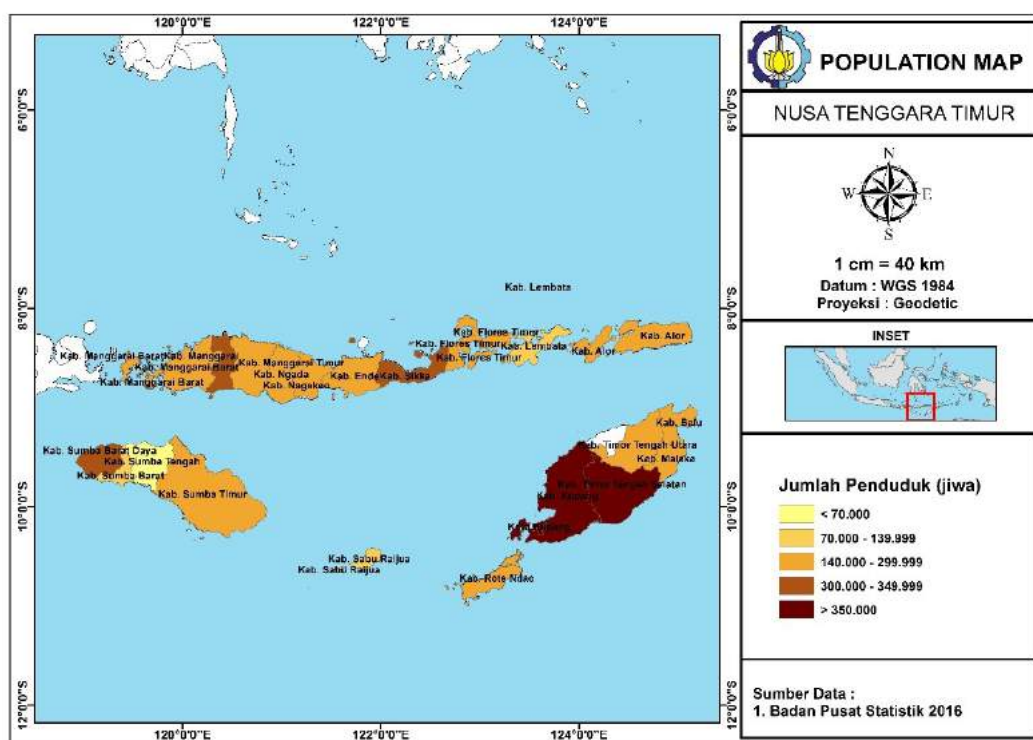


Gambar 61 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun 2016

Tabel 12 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Nusa Tenggara Barat

Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Sales (GWh)	Produksi (GWh)	Beban Puncak (MW)	Pelanggan
2016	6,7	1.525	1.798	292	1.104.802
2017	7.2	1.677	2.034	317	1.174.226
2018	7.6	1.846	2.262	344	1.245.070
2019	8.1	2.037	2.479	375	1.317.291
2020	6.5	2.217	2.673	403	1.390.839
2021	6.5	2.409	2.880	433	1.465.660
2022	6.5	2.615	3.102	464	1.541.698
2023	6.5	2.830	3.335	497	1.602.379
2024	6.5	3.047	3.570	529	1.625.221
2025	6.5	3.278	3.823	563	1.647.808
Growth	6,8%	8,9%	8,8%	7,6%	4,6%

Sedangkan untuk provinsi Nusa Tenggara Timur, juga terjadi peningkatan kebutuhan listrik selama 2016 – 2025. Hal ini dilihat dari kenaikan beban puncak untuk provinsi Nusa Tenggara Timur selama periode 2016 – 2025 dengan peningkatan sebesar 9,2% . Dimana jumlah pelanggan terbanyak terdapat pada kota kupang dan kabupaten Timor Tengah Selatan. Hal ini berdasarkan Gambar 62 dimana jumlah penduduk di kabupaten tersebut lebih dari 350.000 jiwa pada tahun 2016. Sehingga kemungkinan besar jumlah pelanggan listrik terbanyak di Provinsi Nusa Tenggara Timur terdapat pada kota dan kabupaten tersebut.



Gambar 62 Peta Jumlah Penduduk Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2016

Tabel 13 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Nusa Tenggara Timur

Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Penjualan (GWh)	Produksi (GWh)	Beban Puncak (MW)	Pelanggan
2016	6,6	834	1.149	183	773.907
2017	7,1	941	1.260	206	834.611
2018	7,5	1.044	1.364	228	897.140
2019	8,0	1.157	1.487	252	960.593
2020	6,4	1.259	1.589	274	1.025.614
2021	6,4	1.369	1.700	297	1.092.701
2022	6,4	1.485	1.818	322	1.161.243
2023	6,4	1.608	1.944	348	1.231.196
2024	6,4	1.739	2.078	376	1.302.772
2025	6,4	1.877	2.222	405	1.375.982
Growth	6,8 %	9,4 %	7,6 %	9,2 %	6,6 %

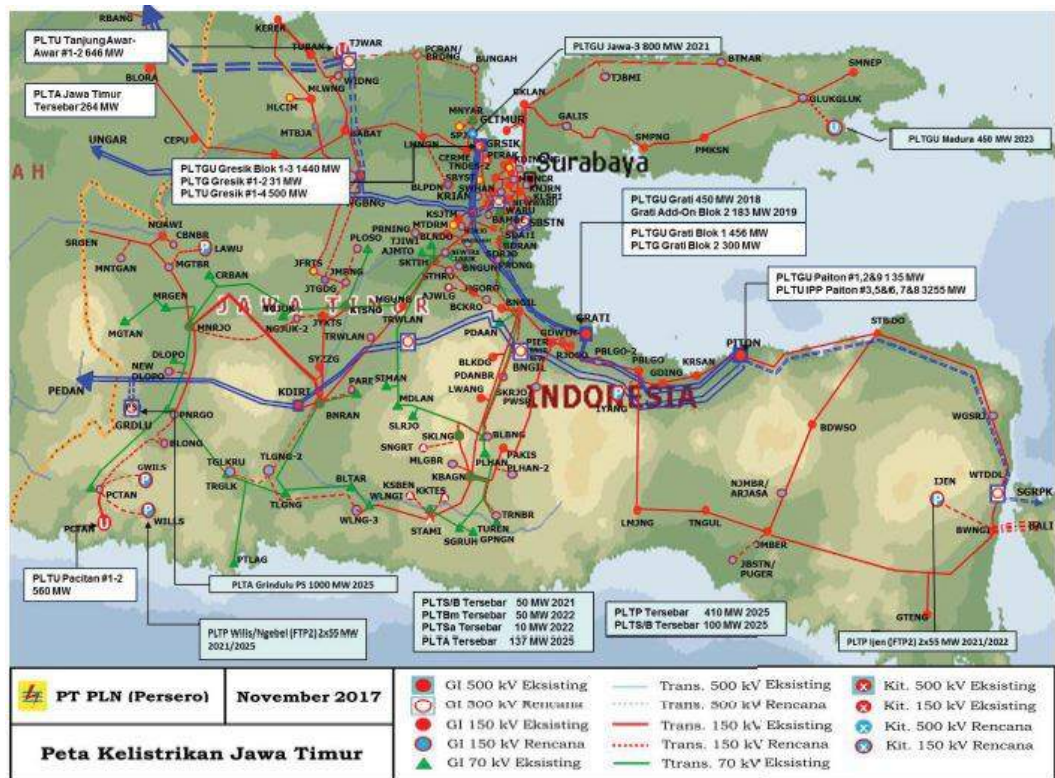
Parameter selanjutnya yang akan dibahas dalam sub bab ini adalah parameter infrastruktur. Infrastruktur yang dimaksud adalah adanya jaringan – jaringan transmisi listrik yang terdapat di sekitar potensi energi gelombang tersebut. Dimana hal ini bertujuan jika nantinya lokasi potensi energi gelombang tersebut dapat dimanfaatkan dan dikembangkan kedepannya tidak menjadi kendala karena telah terdapat infrastruktur di sekitar lokasi potensi energi gelombang tersebut. Adapun data terkait infrastruktur tersebut didapat dari RUPTL tahun 2018 – 2027.

Berdasarkan RUPTL tahun 2018 – 2027, pada Provinsi Bengkulu infrastruktur jaringan – jaringan transmisi listrik terdapat di kabupaten – kabupaten di Provinsi Bengkulu di sekitar lokasi potensi energi gelombang zona B, sedangkan zona A yang terletak dekat dengan pulau Enggano belum terdapat jaringan – jaringan transmisi listrik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 63 terkait peta sistem tenaga listrik di Provinsi Bengkulu. Namun, jika kedepannya potensi energi gelombang dikembangkan untuk zona A yang pada saat ini belum terdapat jaringan transmisi listrik, maka dapat dibangun tersendiri untuk energi gelombang.



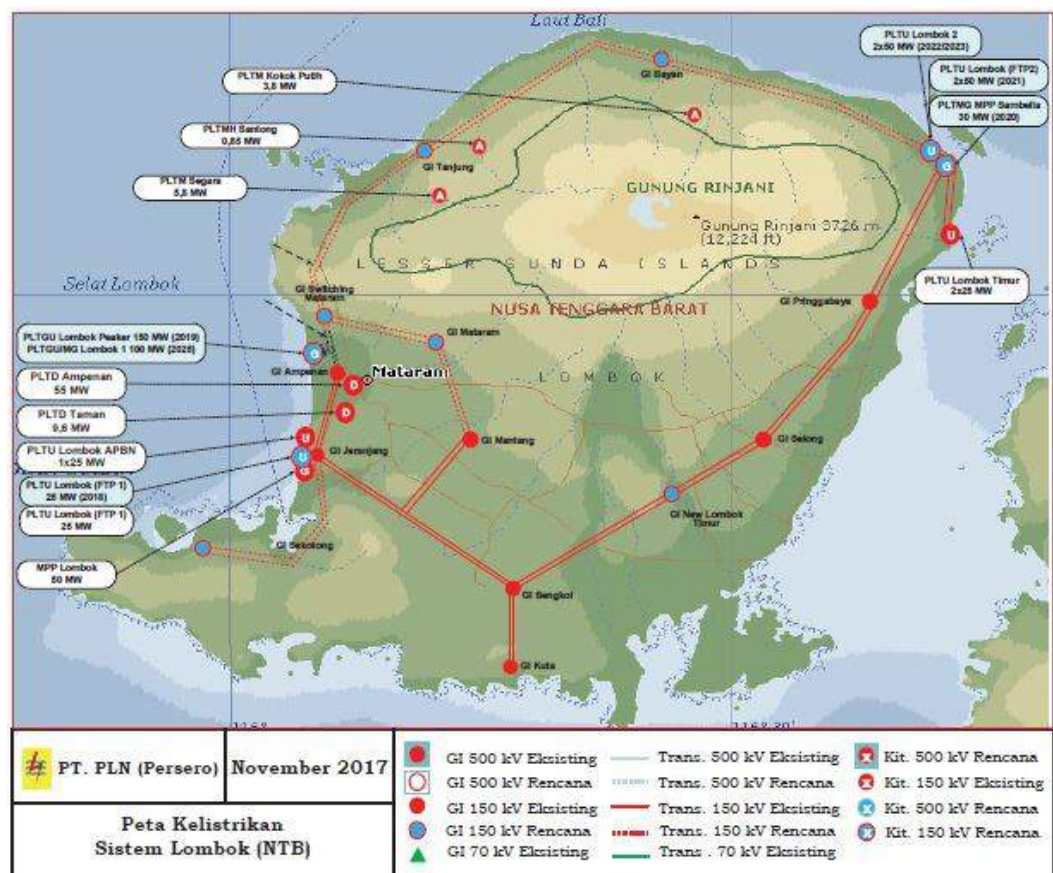
Gambar 63 Peta Sistem Tenaga Listrik Provinsi Bengkulu

Sedangkan untuk Provinsi Jawa Timur, menurut RUPTL tahun 2018 – 2027 terdapat infrastruktur jaringan – jaringan transmisi listrik disekitar lokasi potensi energi gelombang zona A yang terdapat di perairan kabupaten Jember. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 64 tentang peta sistem tenaga listrik Provinsi Jawa Timur. Sehingga jika kedepannya lokasi potensi energi gelombang tersebut dikembangkan dan dimanfaatkan maka tidak diperlukan pembangunan jaringan – jaringan transmisi baru untuk energi gelombang.



Gambar 64 Peta Sistem Tenaga Listrik Provinsi Jawa Timur

Untuk infrastruktur di provinsi Nusa Tenggara Barat, menurut RUPTL 2018 – 2027 terdapat infrastruktur jaringan – jaringan transmisi listrik disekitar lokasi potensi energi gelombang zona A yang terdapat di perairan kabupaten Lombok Timur. Hal ini dapat dilihat pada gambar 65 tentang peta sistem tenaga listrik Pulau Lombok. Sehingga jika kedepannya lokasi potensi energi gelombang tersebut dikembangkan dan dimanfaatkan maka tidak diperlukan pembangunan jaringan – jaringan transmisi baru untuk energi gelombang.



Gambar 65 Peta Sistem Tenaga Listrik Pulau Lombok

Sedangkan untuk infrastruktur di pulau Sumba provinsi Nusa Tenggara Timur, menurut RUPTL 2018 – 2027 tidak terdapat infrastruktur jaringan – jaringan transmisi listrik disekitar lokasi potensi energi gelombang zona A yang terdapat di perairan Kabupaten Sumba Barat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 66 tentang peta sistem tenaga listrik Pulau Sumba. Sehingga jika kedepannya lokasi potensi energi gelombang tersebut dikembangkan dan dimanfaatkan maka diperlukan pembangunan jaringan – jaringan transmisi baru untuk energi gelombang.



Gambar 66 Peta Sistem Tenaga Listrik Pulau Sumba

Berdasarkan beberapa parameter – parameter terkait penentuan potensi energi gelombang secara layak dikembangkan, maka penulis membuat sebuah tabel untuk memudahkan dalam membaca hasil penentuan potensi energi gelombang layak dikembangkan. Dalam tabel tersebut berisikan tentang parameter – parameter yang telah dibahas pada sub bab ini dan hasil dari pembahasannya dan disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Parameter penentuan lokasi potensi energi gelombang layak dikembangkan

Parameter	Provinsi			
	BENGKULU	JAWA TIMUR	Nusa Tenggara Barat	Nusa Tenggara Timur
Harga jual energi gelombang	✓	X	X	✓
Kebutuhan tenaga listrik	✓	✓	✓	✓
Infrastruktur	X	✓	✓	X

Berdasarkan hasil pembahasan terkait parameter – parameter dalam penentuan lokasi potensi energi gelombang tersebut, untuk lokasi yang berada di Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat dalam parameter harga jual energi gelombang tidak sesuai dengan kriteria. Hal ini dikarenakan lokasi potensi energi gelombang yang berada di provinsi Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat berada di pantai selatan tepatnya di selatan kabupaten Jember untuk provinsi Jawa Timur dan barat daya perairan lombok timur untuk provinsi Nusa Tenggara Barat, sedangkan daerah di Jawa Timur yang kriteria harga jual nya sesuai dengan ketentuan BPP yang ditetapkan oleh kementerian ESDM berada di bagian utara provinsi Jawa Timur dimana daerah tersebut terletak sangat jauh dari lokasi potensi energi gelombang, sedangkan untuk NTB lokasi yang harga jual nya sesuai dengan ketentuan BPP berada di pulau Sumbawa yang berseberangan dengan pulau Lombok. Sehingga jika kedepannya akan dikembangkan untuk energi gelombang, maka akan terkendala dengan harga, baik itu harga pemasangan alat maupun harga maintenance yang tinggi.

Sedangkan untuk Provinsi Bengkulu dan Pulau Sumba, parameter – parameter dalam penentuan lokasi potensi energi gelombang layak dikembangkan sudah sesuai dengan kriteria. Namun kriteria – kriteria di Provinsi Bengkulu tersebut sesuai untuk Pulau Enggano saja. Hal ini berkaitan dengan harga jual energi

gelombang di Pulau Enggano dan Sumba masih dibawah harga BPP yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk Provinsi Bengkulu tidak sesuai dikarenakan harga BPP lebih rendah jika dibandingkan dengan harga jual energi gelombang. Untuk parameter kebutuhan listrik di Provinsi Bengkulu dan Provinsi NTB juga terjadi kenaikan setiap tahunnya, sehingga energi gelombang juga dapat digunakan sebagai pembangkit jika dikembangkan kedepannya. Sedangkan untuk infrastruktur, meskipun lokasi potensi energi gelombang yang terdapat di sekitar Pulau Enggano belum ada, namun hal tersebut dapat teratasi dengan cara pembangunan infrastruktur jika kedepannya energi gelombang di lokasi tersebut dikembangkan.

Adapun peta potensi energi gelombang secara layak dikembangkan terdapat pada Gambar 67 . Berdasarkan informasi tersebut, maka perairan di Indonesia memiliki 2 lokasi potensial untuk energi gelombang yaitu di perairan selatan Pulau Enggano dan perairan selatan pulau Sumba. Sedangkan untuk daya energi gelombang secara layak dikembangkan terdapat pada Tabel 15 . Dari informasi tersebut maka rata – rata energi gelombang yang dapat dikembangkan yaitu sekitar 1,9 megawatt – 3,7 megawatt.



Gambar 67 Peta Potensi Energi Gelombang Layak Dikembangkan

Tabel 15 Potensi Energi Gelombang Layak Dikembangkan

	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potensi Layak Dikembangkan (MW)	3,7	2,6	2,7	1,8	2,9	3,4	3,7	3,1	3,1	2,4	1,9	2,4

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan energi gelombang dari teoritis, teknis, praktis, terakses, hingga layak dikembangkan, maka penulis membuat peta potensi energi gelombang untuk perairan Indonesia. Peta tersebut merupakan hasil dari perhitungan berbagai aspek yang telah dibahas pada bab 4 ini. Adapun peta potensi energi gelombang terdapat pada gambar 68. Dimana penulis membuat kategori – kategori sesuai dengan potensi – potensi perairan Indonesia yang nantinya dapat dijadikan masukan untuk kementerian ESDM dan lembaga – lembaga terkait untuk penelitian ataupun survei selanjutnya untuk energi gelombang.



Gambar 68 Peta Lokasi Potensi Energi Gelombang

Adapun kategori yang dibuat penulis dibedakan menjadi 3 kategori yaitu :

1. Kategori 1

Lokasi – lokasi yang masuk dalam kategori 1 ialah lokasi – lokasi perairan yang layak dikembangkan dan dikaji lebih lanjut oleh kementerian ESDM dan lembaga – lembaga terkait lainnya.

2. Kategori 2

Lokasi – lokasi yang masuk dalam kategori 2 ialah lokasi – lokasi perairan yang dalam potensi terakses sesuai namun untuk tahap pengembangan masih perlu kajian ulang terkait harga jual listrik dan biaya pokok penyediaan nya.

3. Kategori 3

Lokasi – lokasi yang masuk dalam kategori 3 ialah lokasi – lokasi perairan yang secara potensi praktis sesuai namun untuk tahap terakses masih perlu kajian ulang. Hal ini terkait tentang RZWP3K untuk lokasi – lokasi perairan tersebut, dimana belum adanya peraturan tentang tata ruang laut.

Berdasarkan kategori – kategori tersebut, perairan di Indonesia yang masuk dalam kategori 1 yaitu perairan selatan Pulau Enggano dan perairan selatan Pulau Sumba. Lalu perairan di Indonesia yang masuk dalam kategori 2 yaitu perairan selatan Provinsi Bengkulu, perairan selatan Provinsi Jawa Timur, perairan selatan Provinsi Nusa Tenggara Barat. Sedangkan perairan di Indonesia yang masuk dalam kategori 3 yaitu perairan barat daya Provinsi Aceh, perairan barat daya Provinsi Sumatera Barat, perairan selatan Provinsi Jawa Barat, perairan selatan Provinsi Jawa Tengah, perairan selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, perairan selatan Provinsi Bali, perairan utara Pulau Papua.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1 Besaran energi gelombang laut di seluruh perairan Indonesia yaitu untuk potensi teoritis berturut – turut dari tahun 2012 – 2016 sebesar 136.000 MW, 158.000 MW, 150.000 MW, 134.000 MW dan 139.000 MW. Sedangkan untuk potensi teknis yaitu berturut – turut dari tahun 2012 - 2016 sebesar 111.000 MW, 129.000 MW, 123.000 MW, 109.000 MW, 114.000 MW. Lalu untuk potensi praktis yaitu berturut – turut dari tahun 2012 - 2016 sebesar 93.000 MW, 108.000 MW, 103.000 MW, 89.000 MW, dan 97.000 MW. Kemudian untuk potensi terakses terdapat beberapa wilayah di Indonesia yang memiliki potensi energi gelombang dari 2,2 MW hingga 4,4 MW. Sedangkan potensi layak dikembangkan yang terdapat pada perairan Indonesia sebesar 1,8 MW – 3,7 MW.
- 2 Lokasi – lokasi di perairan Indonesia yang berpotensi untuk energi gelombang berada di perairan selatan pulau Enggano dan pulau Sumba untuk kategori 1, perairan selatan Provinsi Bengkulu, Jawa Timur dan Nusa Tenggara Barat untuk kategori 2 dan perairan barat daya Provinsi Aceh, Sumatera Barat, perairan selatan Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, DIY, Bali, dan perairan utara pulau Papua termasuk kategori 3. Hal ini sesuai dengan analisis dan perhitungan potensi energi gelombang mulai dari potensi teoritis, potensi teknis, potensi praktis, potensi terakses dan potensi layak dikembangkan.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan oleh penulis yaitu diharapkan penelitian selanjutnya untuk perhitungan energi gelombang digunakan data satelit dengan resolusi yang lebih tinggi ataupun pengukuran in situ jika perlu dilakukan agar hasil perhitungan lebih terfokus pada daerah yang dikaji. Serta perhitungan terkait distribusi energi gelombang agar pemilihan teknologi yang dipakai sesuai dengan kondisi perairan.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR PUSTAKA

- ABP Marine Environmental Research Ltd. 2004. *Technical Report*, Report No. R1106 prepared for the UK Department of Trade and Industry, 2004.
- Akbar, S. 2012. *Studi Optimasi Kemiringan Lambung Ponton PLTGL – SB (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut – Sistem Bandulan) Akibat Beban Gelombang Laut*. Surabaya.
- Akpinar, A., Komurcu MI. 2013. *Assessment of Wave Energy Resource of the Black Sea Based on 15 - year Numerical Hindcast Data*. Appl Energy 2013;101:502-12.
- AquanetPower. 2017. *AquaWAVE – Shallow Water Application*. <https://www.aquanetpower.com/aquawave>. Diakses 29 Desember 2017
- AW-Energy. 2012. *Waveroller Concept*. <http://aw-energy.com/about-waveroller/waveroller-concept>. Diakses 29 Desember 2017
- Baup, F., Frappart, F., Maubant, J. 2014. *Combining High- resolution Satellite Images and Altimetry to Estimete the Volume of Small Lakes*. Hydrol. Earth Syst.Sci.18,2007-2020.
- Black, J. A. 1986. *Oceans and Introduction to Oceanography*. WM. C. Brown. Publishers.
- Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon.
- Cameron, L., R. Doherty, A. Henry, K. Doherty, J. Van ‘t Hoff, D. Kaye dan D. Naylor, S. Bourdier, T. Whittaker. 2010. *Design of the Next Generation of the Oyster Wave Energy Converter*. 3rd International Conference on Ocean Energy, 6 October, Bilbao.
- Carballo, R., dan G. Iglesias. 2012. *A Methodology to Determine the Power Performance of Wave Energy Converters at a Particular Coastal Location*. Energy Conversion and Management, 61, 8 - 18.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. Fourth Edition Volume 1, Washington U.S. Army Coastal Engineering Research Center.

- Chelton D.B., J.C. Ries, B.J. Haines. 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications*, Int. Geophys. vol 69, Academic Press, San Diego, California.
- Cipollini, P., dan Snaith, H. 2015. *A Short Course on Altimetry*. In 4rd ESA Advanced Training on Ocean Remote Sensing. 7 - 11 September 2015. Brest, France.
- Davies, C. G., Challenor, P. G., dan Cotton, P. D. 1997. *Measurement of Wave Period from Radar Altimeters*. Ocean Wave Measurement and Analysis. ASCE., 819 - 826.
- Dean, R. G. dan Dalrymple, R.A. 1991. *Water Waves Mechanics For Engineers and Scientists*. World Scientific Pub. Co., Teaneck, NJ. 1991.
- Dean, R. G. dan Dalrymple, R.A. 2002. *Coastal Processes With Engineering Applications*. Cambridge University Press 2004.
- Djarmiko, Eko Budi. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya.
- Drew, B., Plimmer, A. R., dan Sahinkaya, M.N., 2009, *A Review of Wave Energy Converter Technology*. Proc. Imech EVol. 223 Part A: J. Power and Energy.
- Enciso, Y. T., I. Ortubia, L. I. Lopez de Aguilera dan J. Marques. 2009. *Mutriku Wave Power Plant : From The Thinking Out To The Reality*. Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden, 2009.
- ESRI. 1996. *Using the ArcView Spatial Analyst*. Redlands, Environmental Systems Research Institute, Inc
- ESRI.2016.*HowWeightedOverlayWorks*.<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.html>. Diakses 24 Mei 2018
- ESRI.2016. *About ArcGIS*. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>. Diakses 24 Juli 2018.
- Falcao, A. F. O. 2010. *Wave Energy Utilization : A Review of the Technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp. 899 - 918.

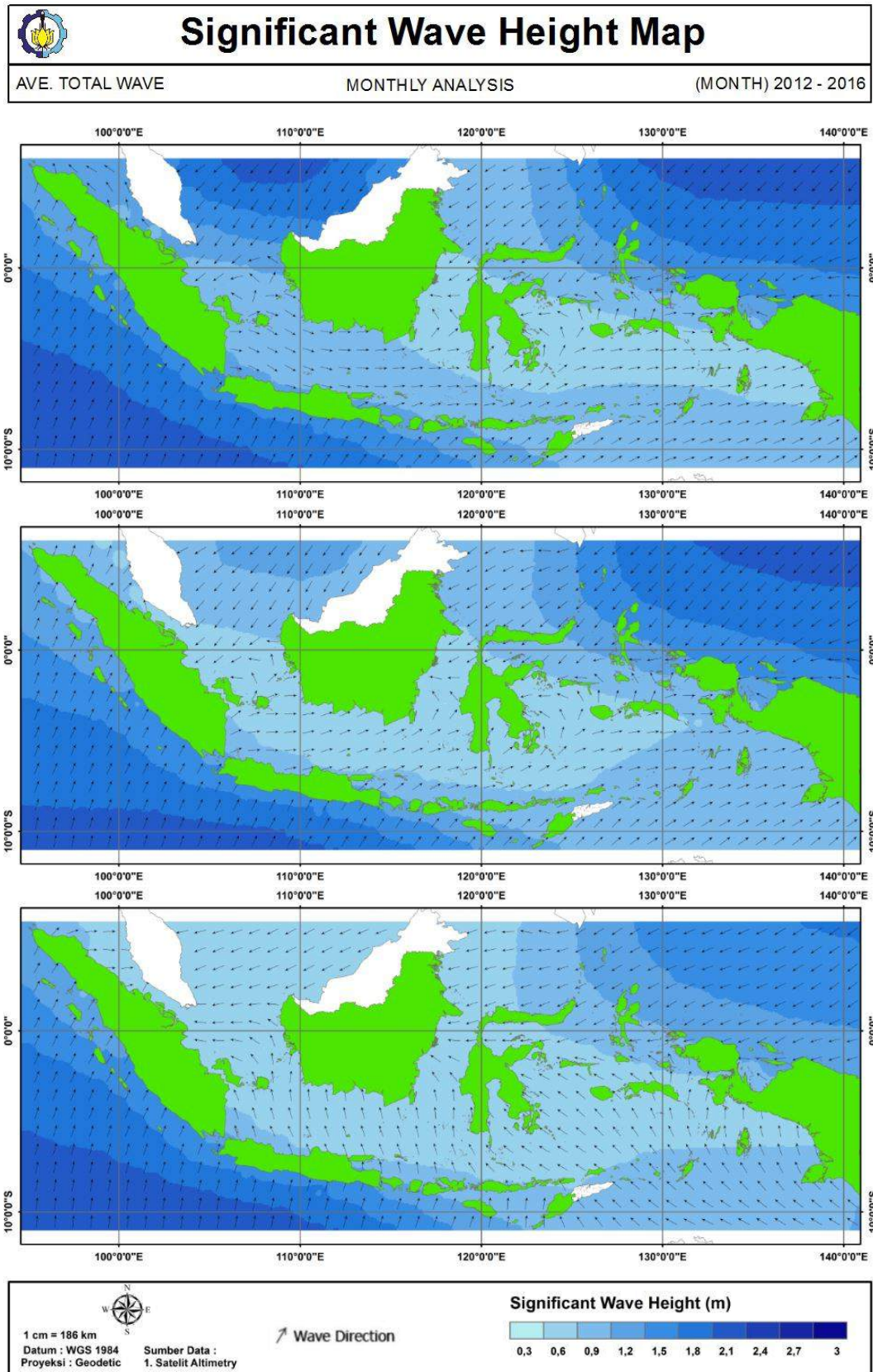
- Fu, L. L., Cazenave, A. 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences*. Academic Press, San Diego
- Fu, L. L., dan Glazman, R. 1991. *The Effect of the Degree of Wave Development on the Sea State Bias in Radar Altimetry Measurement*. Journal of Geophysical Research: Oceans (1987 - 2012), 96(C1), 829 - 834
- Gommenginger, C. P., Srokosz, M. A., Challenor, P. G., dan Cotton, P. D. 2003. *Measuring Ocean Wave Period with Satellite Altimeters : A Simple Empirical Model*. Geophysical Research Letters, 30(22), 2150. doi: 10.1029/2003GL017743
- Govindan, R., Kumar, R., Basu, S., dan Sarkar, A. 2011. *Altimeter - derived Ocean Wave Period Using Genetic Algorithm*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 8(2), 354 - 358.
- Handoko, Eko Yuli. 2004. *Satelit Altimetri dan Aplikasinya Dalam Bidang Kelautan*. Pertemuan Ilmiah Tahunan I.
- Harmon, E. John, Steven J. Anderson. 2003. *The Design And Implementation Of Geographic Information Systems*.
- Hashim, Farah Ellyza, Omar Yaakob, K. M. Omar, A. H. Md Din, Kho King Koh. 2016. *Wave Energy Mapping in Malaysia Using Multi - mission Satellite Altimetry*. Proc of 3rd the Asian Wave & Tidal Energy Conference.
- Hartoyo, G. Manjela *et al.* 2010. *Modul Pelatihan Sistem Informasi Geografis (GIS) Tingkat Dasar*. Balikpapan
- Holthuijsen, L. 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press.
- Hutarabarat, S. dan S.M. Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. UI Press. Jakarta.
- Hwang, P. A., Teague, W. J., Jacobs, G. A., dan Wang, D. W. 1998. *A Statistical Comparison of Wind Speed, Wave Height, and Wave Period derived from Satellite Altimeters and Ocean Buoys in the Gulf of Mexico Region*. Journal of Geophysical Research, 103, 10451 - 10468. doi:10.1029/98JC00197
- Iglesias, G., dan Carballo, R. 2010. *Wave Energy and Nearshore Hot Spots : the Case on the SE Bay of Biscay*. Renewable Energy, 35(11), 2490 - 2500.

- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2014. *Ocean Energy Technology : Innovation, Patens, Market Status and Trends*. International Renewable Energy Agency, June 2014
- Jadidoleslam, N., dan Ozger, M. 2016. *Wave Power Potential Assessment of Aegean Sea With an Integrated 15 - year Data*. Renewable Energy, 86, 1045 - 1059. doi:10.1016/j.renene.2015.09.022.
- John, E.Harmon dan Steven J. Anderson. 2003. *The Design and Implementation of Geographic Information Systems*. New Jersey
- Kshatriya, J., Sarkar, A., dan Kumar, R. 2005. *Determination of Ocean Wave Period from Altimeter Data using Wave- age Concept*. Marine Geodesy, 28(1), 71 - 79. doi:10.1080/01490410590884575.
- Lopez, I., Jon Andreu, Salvador Ceballos, Inigo Martinez de Alegria, Inigo Kortabarria. 2013. *Review of Wave Energy Technologies And the Necessary Power – Equipment*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 27 (2013) 413 – 434.
- Mackay, E. B. L., Retzler, C. H., Challenor, P. G., dan Gommenginger, C. P. 2008. *A Parametric Model for Ocean Wave Period from Ku band Altimeter Data*. Journal of Geophysical Research, 113(C3), C03029 doi:10.1029/2007JC004438
- Maulud, K.N. A., O.A Karim, K.Sopian, Z.MD.Darus,E.E. Mohd. Ramly. 2008. *Identifiction a Potensial Wave Energy Location In Malaysia Using GIS*. Malaysia.
- Marine Institute and Sustainable Energy Ireland. 2005. *Ocean Energy in Ireland, and Ocean Strategy for Ireland*. Report to Department of Communications, Marine and Natural Resources, October 2005.
- Mendes, R. P. G., Calado, M. R. a., dan Mariano, S. J. P. S. 2012. *Wave Energy Potential in Portugal - Assessment based on Probabilistic Description of Ocean Waves Parameters*. Renewable Energy, 47, 1 - 8. doi:10.1016/j.renene.2012.04.009.
- Mukhtasor. 2014. *Mengenal energi laut*. Surabaya : ICEES
- Nielsen, Kim, Krogh Jan, Brodersen, Hans Jorgen. 2015. *Partnership for Wave Power - Roadmaps*. Aalborg University. Denmark

- Ocean Energy. 2017. *OE Technology*. <http://www.oceanenergy.ie/>. Diakses 29 Desember 2017
- OHT. 2015. *Innovation & Technology*. <http://www.oceanharvesting.com/innovation>. Diakses 29 Desember 2017.
- P3GL Balitbang ESDM dan ASELI. 2014. *Potensi Energi Laut Indonesia*
- Pelamis. 2017. *Pelamis Technology*. <https://www.pelamiswave.com/pelamis-technology/>. Diakses 29 Desember 2017
- Pudjanarsa, A. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta : ANDI.
- Prasetyo, B. dan M.L. Jannah. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Rajawali Press. Jakarta.
- Quilfen, Y., Chapron, B., Collard, F., dan Serre, M. 2004. *Calibration/Validation of an Altimeter Wave Period Model and Application to Topex/Poseidon and Jason-1 altimeters*. Marine Geodesy, 27(3-4), 535 - 549. doi:10.1080/01490410490902025
- Raharjo, Beni. 2015. *Tutorial ArcGIS Untuk Pemula*. GISTutorial.NET. <http://www.gistutorial.net>. Diakses 24 Juli 2018
- Reikard, Gordon., Pierre. Pinson, Jean – Raymond Bidlot. 2011. *Forecasting Ocean Wave Energy : The ECMWF wave model and time series methods*. Ocean Engineering 38 (2011) :1089 - 1099
- Ross,D.A., Degens, E.T. dan MacIvaine, J. 1970. Black Sea : recent sedimentary history. Science, 170: 163- 165.
- Sampanis, K., Jian Wan, Deborah Greaves, Jon Miles, Gregorio Iglesias. 2016. *Laboratory Tests in The Development of WaveCat*. Sustainability 2016, 8, 1339;
- Sannasiraj, S.A. dan V. Sundar. 2016. *Assessment of Wave Energy Potential and Its Harvesting Approach Along The Indian Coast*. Renewable Energy 99 (398 - 409)
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.

- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Watson, D.F. dan Philip G.M. 1985. *A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation*. Geo - Processing 2: 315 - 327.
- Wavepiston. 2017. *Wavepiston's Non Intrusive, Simple, Robust and Low – Cost Solution for Harvesting the Energy of the Oceans*. <http://wavepiston.dk/#our-services>. Diakses 29 Desember 2017
- Weinsten, A., Fredrikson, G., Parks, M. J., dan Neislen, K. 2004. *AquaBuOY - The Offshore Wave Energy Converter : Numerical Modeling and Optimization*. Proceedings of the Oceans '04 MTS/IEEE Techno - Ocean' 04, Kobe, Japan, 9 - 12 November 2004.
- Wello. 2017. *The Hidden Truth About The Penguin*. <https://wello.eu/the-penguin/technology/>. Diakses 29 Desember 2017
- Wu, S., Liu, C., dan Chen, X. 2015. *Offshore Wave Energy Resource Assessment in the East China Sea*. Renewable Energy, 76, 628 - 636. doi:10.1016/j.renene.2014.11.054.
- Yaakob, O, F.E. Hasim, K. Mohd Omar, A. H. Md Din, dan K. K. Koh. 2016. *Satellite - Based Wave Data and Wave Energy Resource Assessment for South China Sea*. Renewable Energy, vol 88. no. Januari 2016, pp. 359 - 371.
- Yu, Y. H., Jenne, D. S., Thresher R., Copping, A., Geerlofs, S., dan Hanna, L. A., 2015. *Reference Model 5 (RM5) Oscillating Surge Wave Energy Converter*. Technical Report.NREL/TP-5000-62861. January 2015.
- Zhou, Guoqing, Jingjin Huang, Guangyun Zhang. 2015. *Evaluation of the Wave Energy Conditions Along the Coastal Waters of Beibu Gulf, China*. Energy 85 (2015) : 449 - 457.

LAMPIRAN





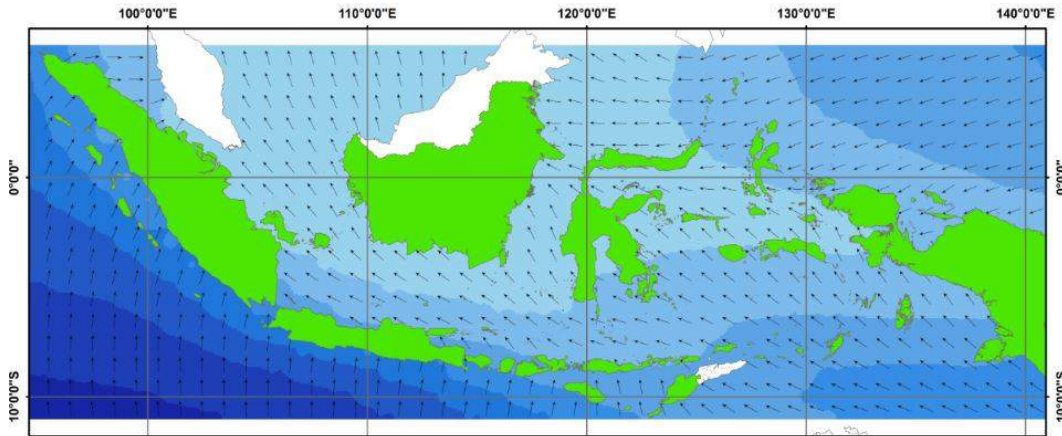
Significant Wave Height Map

AVE. TOTAL WAVE

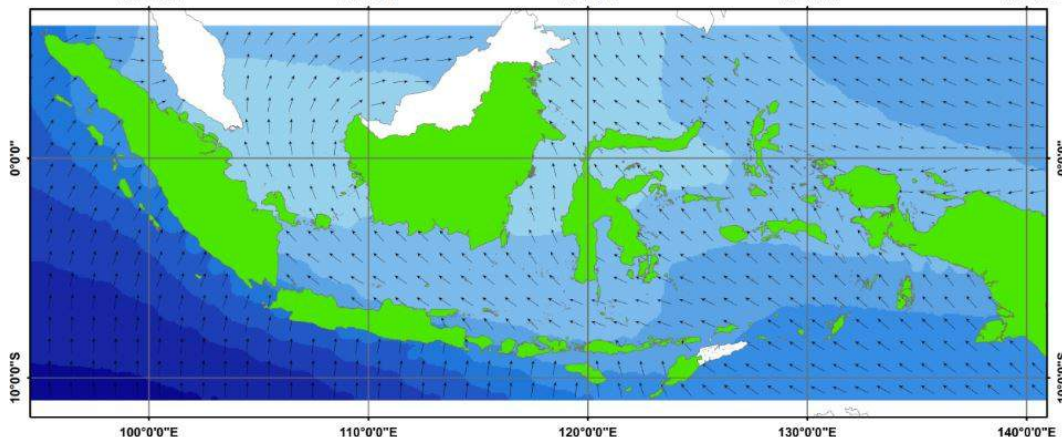
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

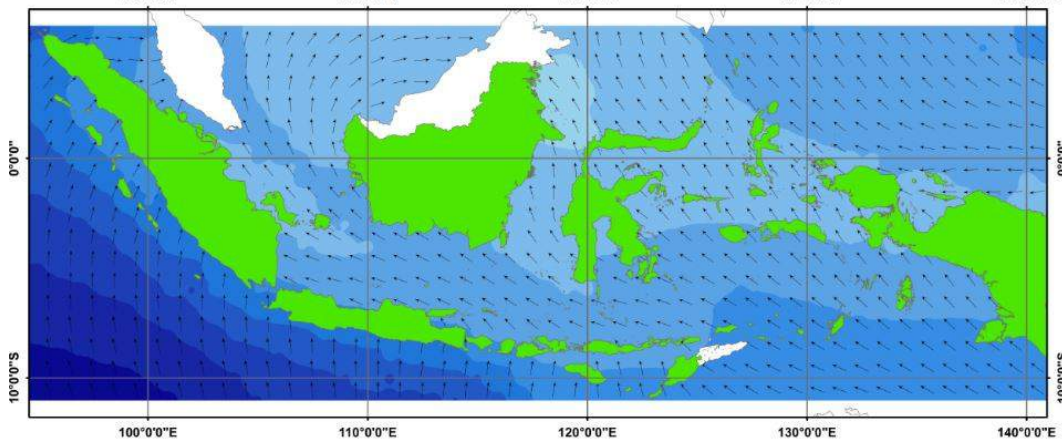
Mei (2012 – 2016)



Juni (2012 – 2016)



Juli (2012 – 2016)



1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984

Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :

1. Satelit Altimetry

Wave Direction

Significant Wave Height (m)



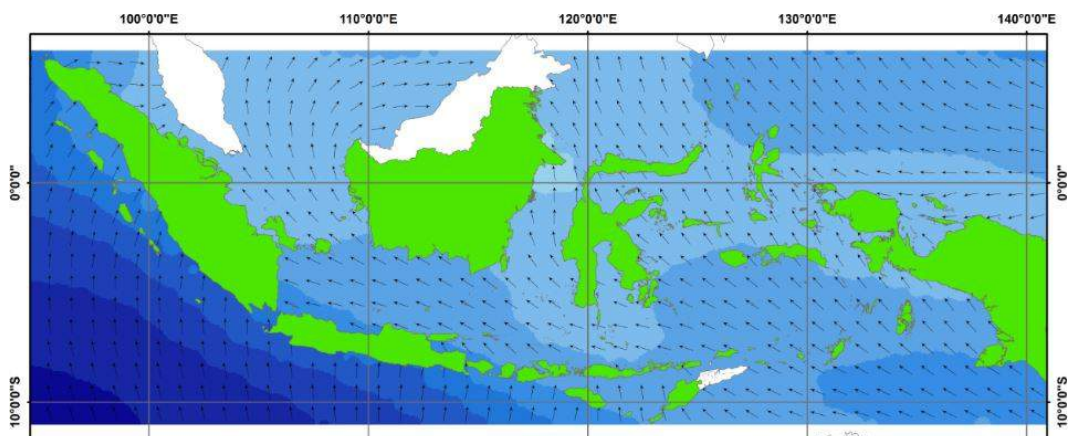


Significant Wave Height Map

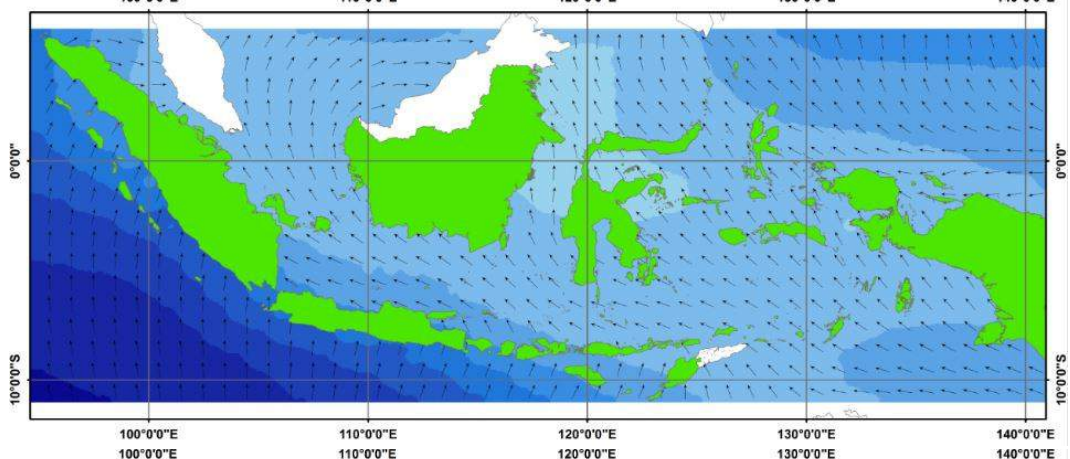
AVE. TOTAL WAVE

MONTHLY ANALYSIS

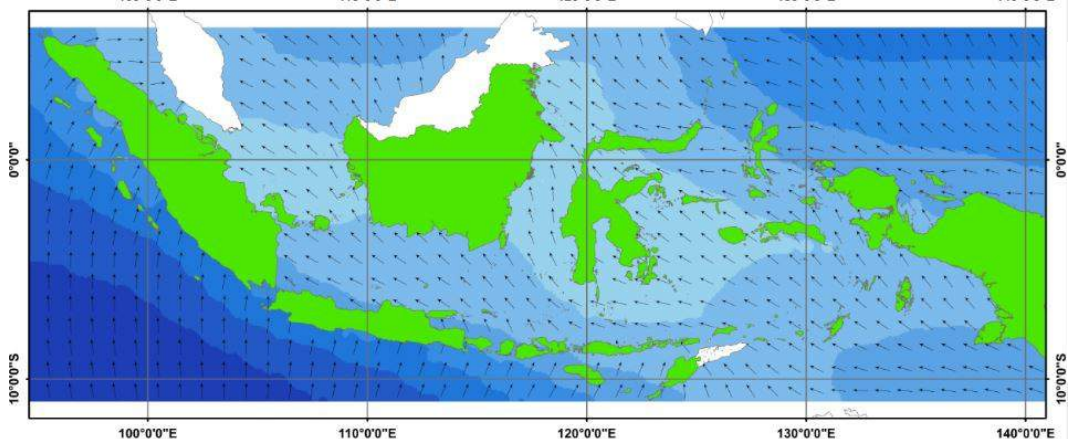
(MONTH) 2012 - 2016



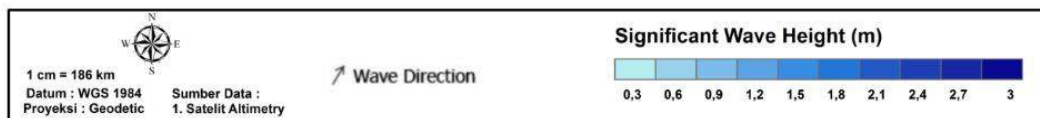
Agustus (2012 – 2016)



September (2012 – 2016)



Oktober (2012 – 2016)





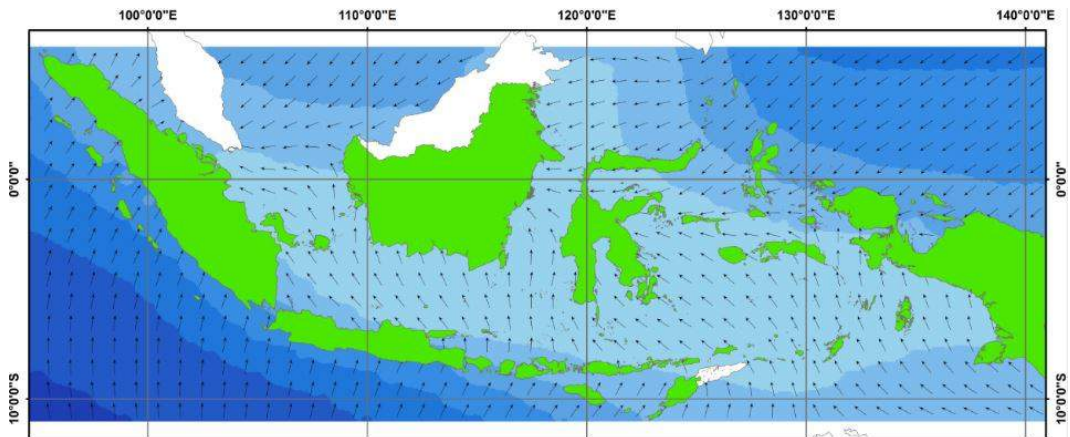
Significant Wave Height Map

AVE. TOTAL WAVE

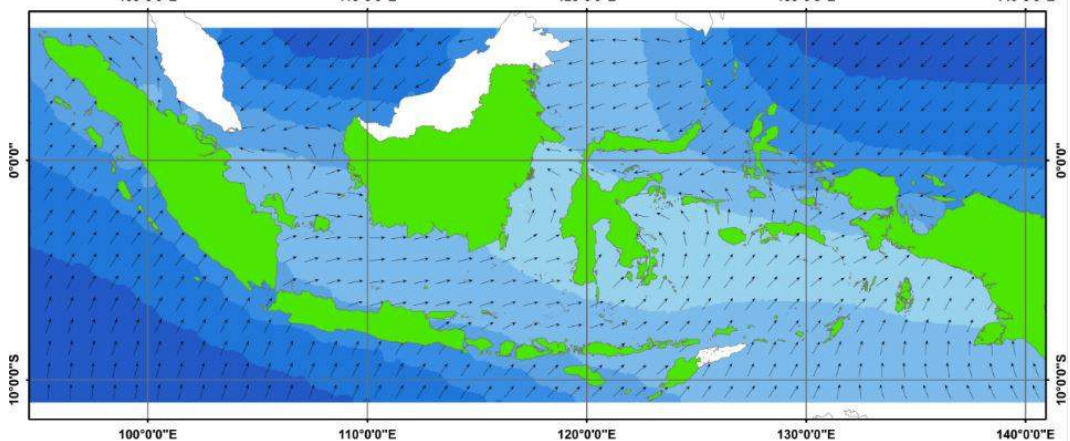
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

November (2012 – 2016)



Desember (2012 – 2016)



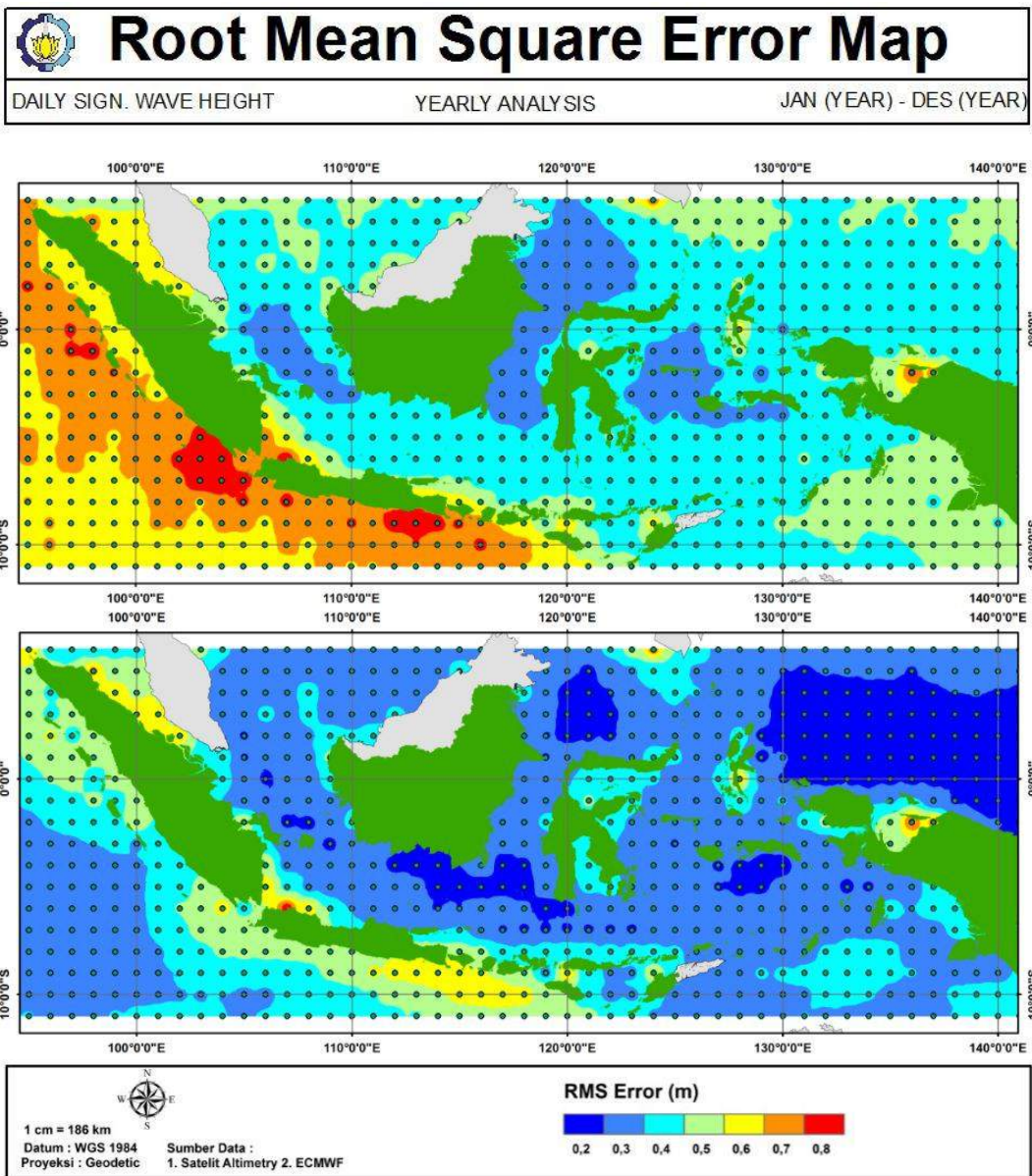
1 cm = 186 km
Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Direction

Significant Wave Height (m)





Januari - Desember (2013)

Januari - Desember (2014)



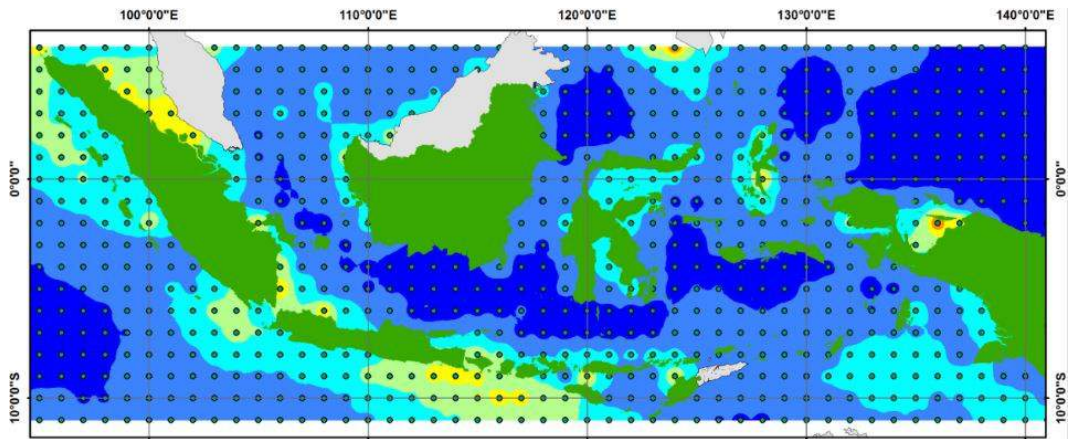
Root Mean Square Error Map

DAILY SIGN. WAVE HEIGHT

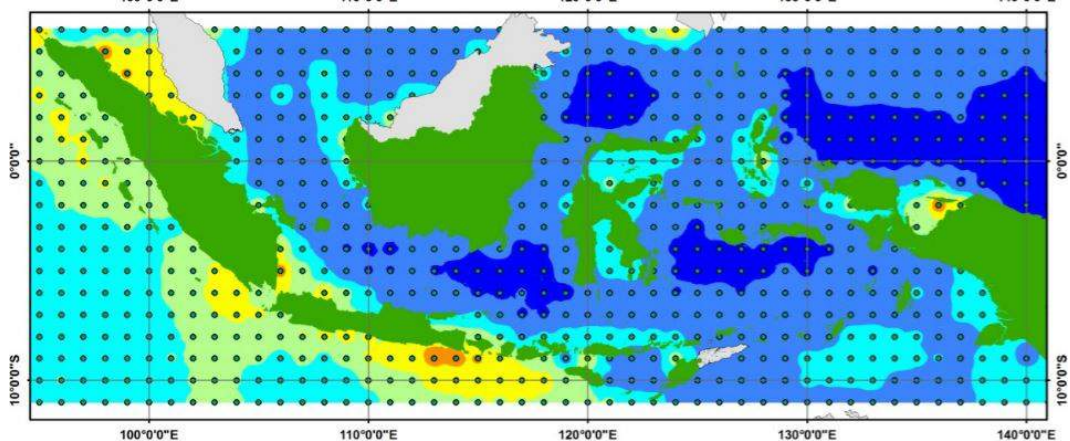
YEARLY ANALYSIS

JAN (YEAR) - DES (YEAR)

Januari - Desember (2015)



Januari - Desember (2016)



1 cm = 186 km
Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry 2. ECMWF

RMS Error (m)



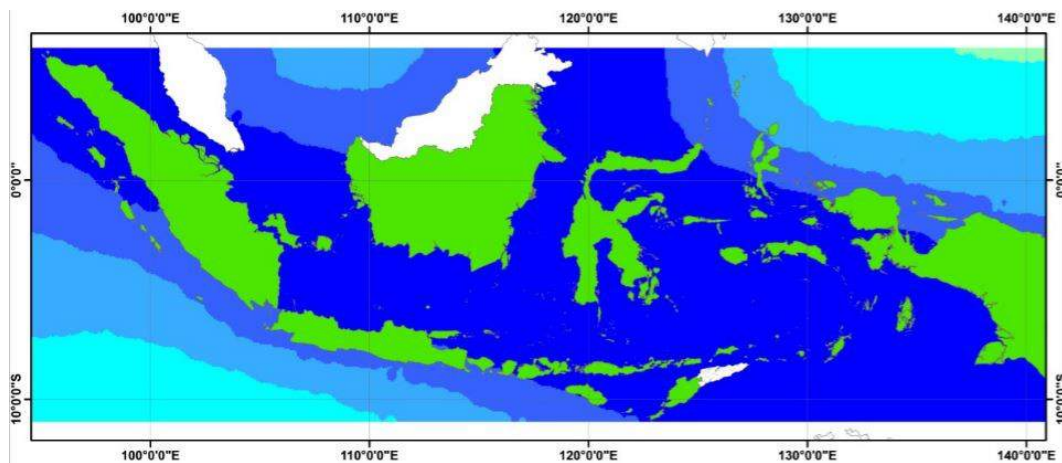


THEORETICAL WAVE ENERGY MAP

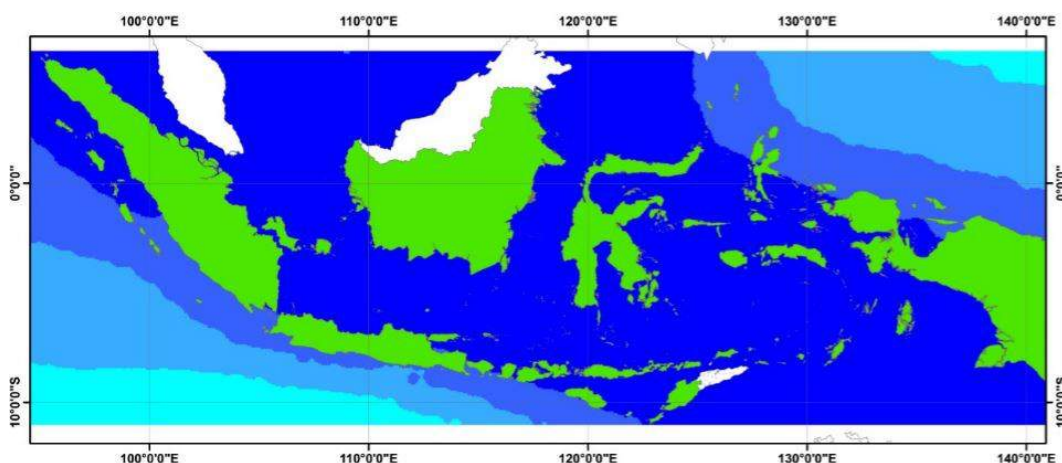
AVE. WAVE ENERGY

MONTHLY ANALYSIS

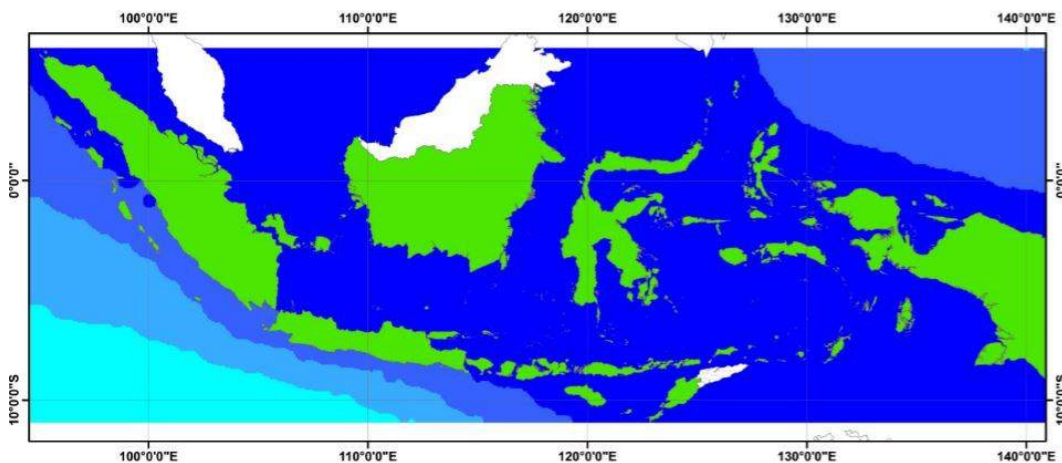
(MONTH) 2012 - 2016



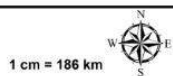
Februari (2012 – 2016)



Maret (2012 – 2016)



April (2012 – 2016)



1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)





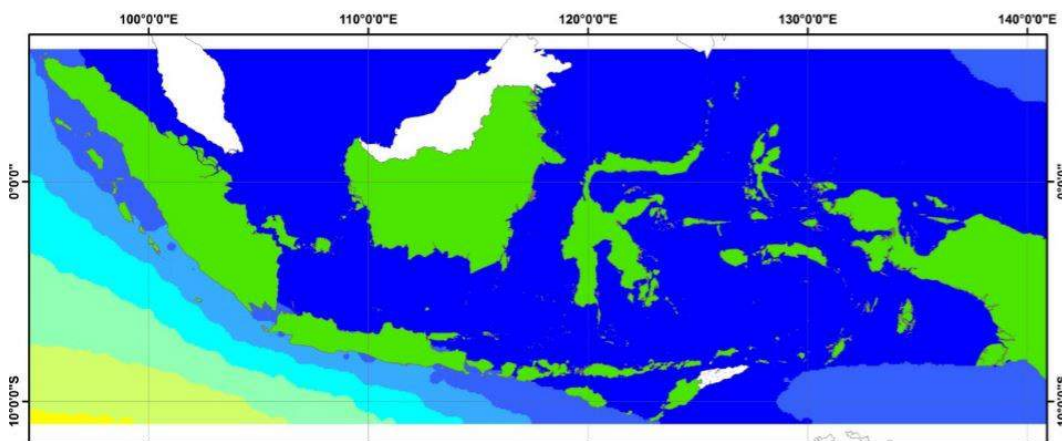
THEORETICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

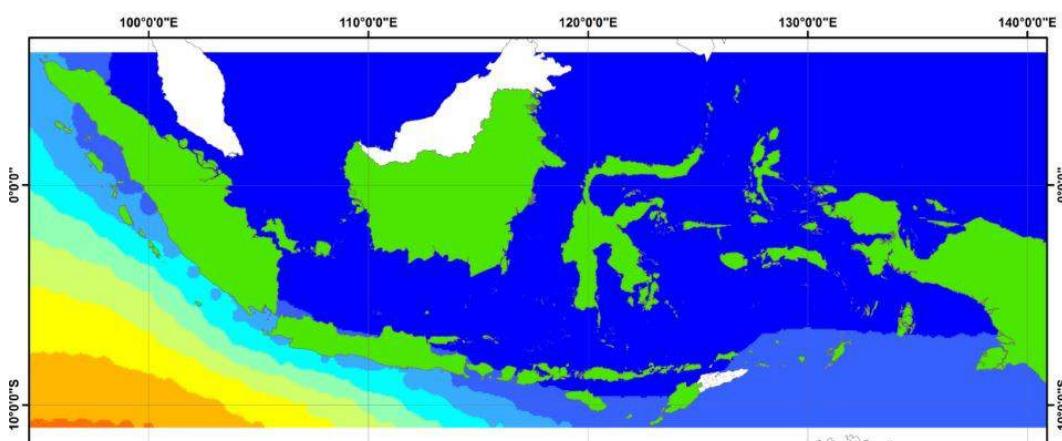
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

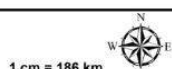
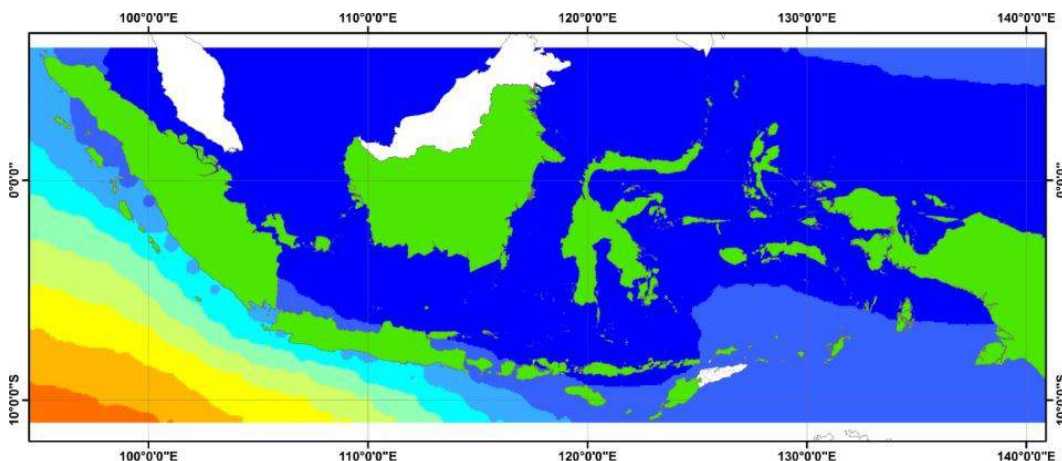
Mei (2012 – 2016)



Juni (2012 – 2016)



Juli (2012 – 2016)

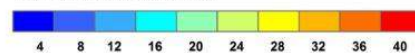


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)



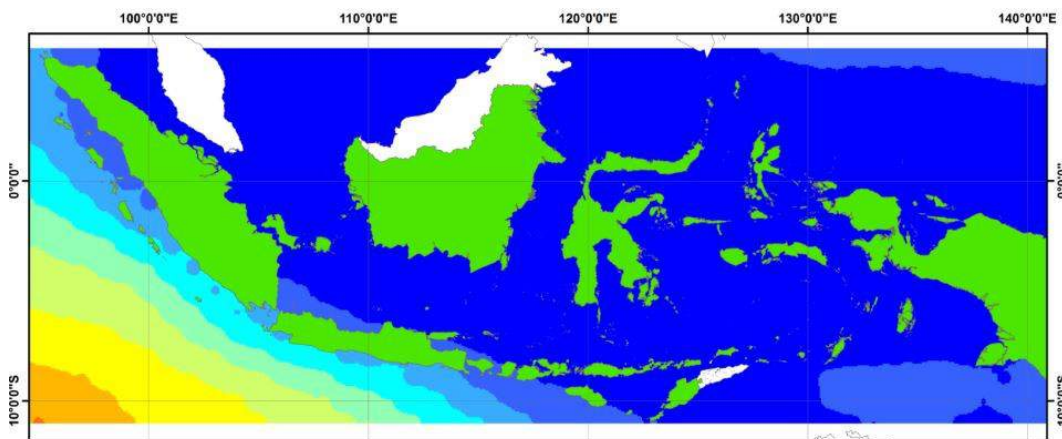


THEORETICAL WAVE ENERGY MAP

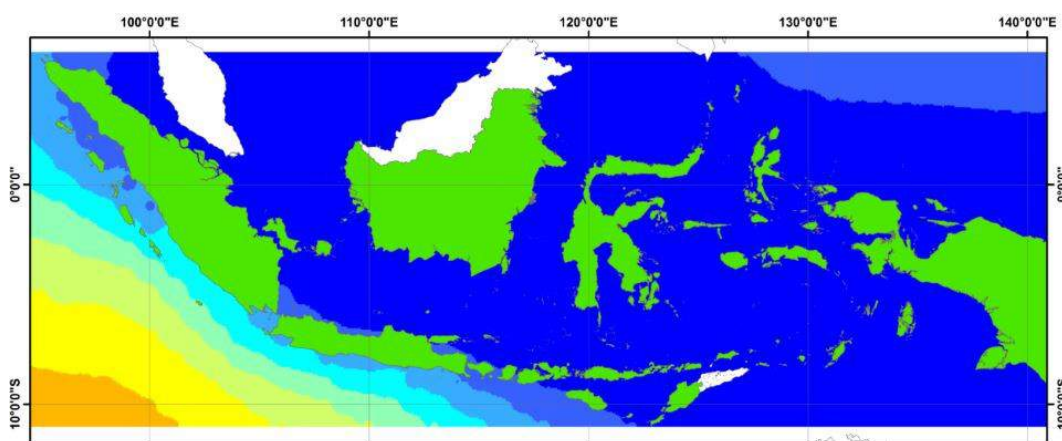
AVE. WAVE ENERGY

MONTHLY ANALYSIS

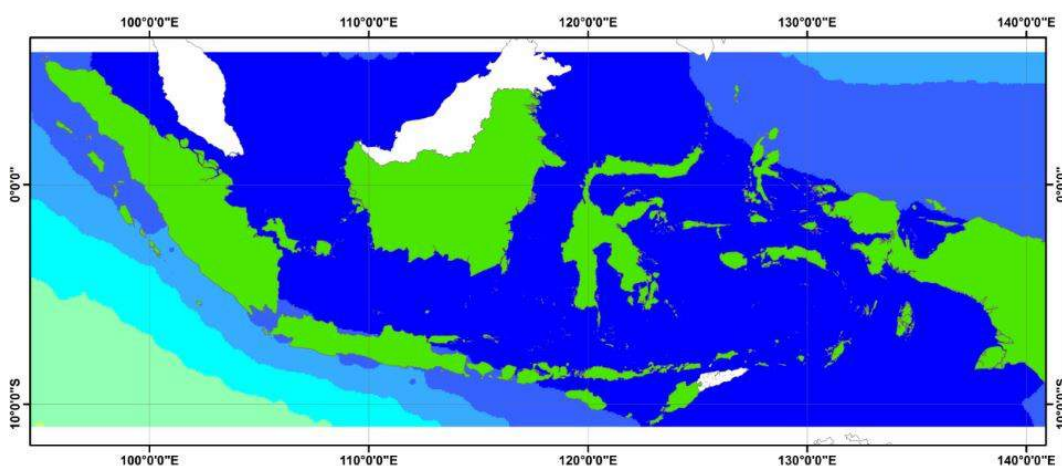
(MONTH) 2012 - 2016



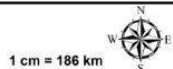
Agustus (2012 – 2016)



September (2012 – 2016)



Oktober (2012 – 2016)

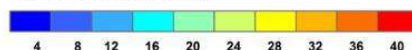


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)





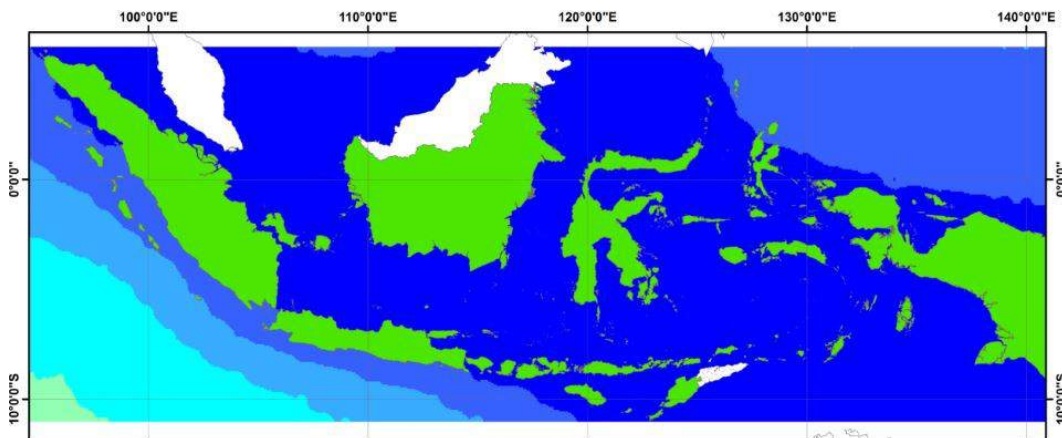
THEORETICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

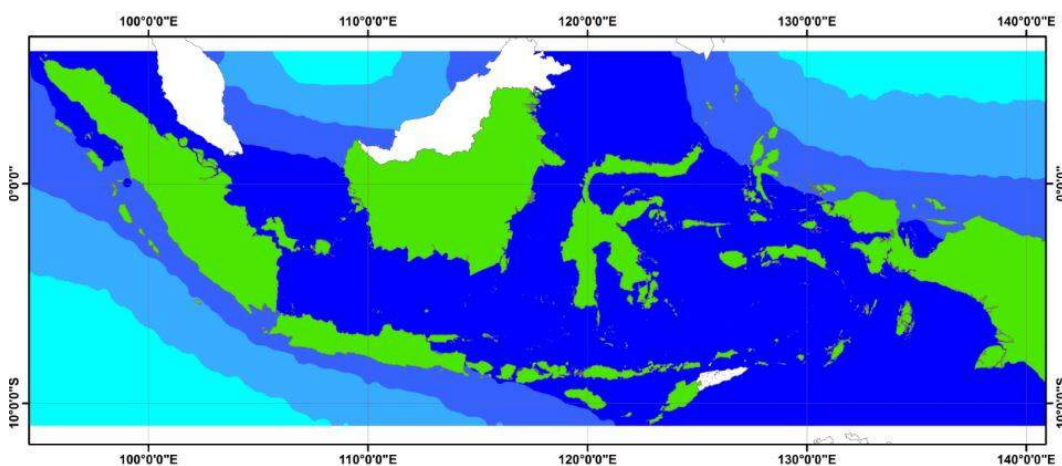
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

November (2012 – 2016)



Desember (2012 – 2016)

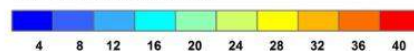


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)



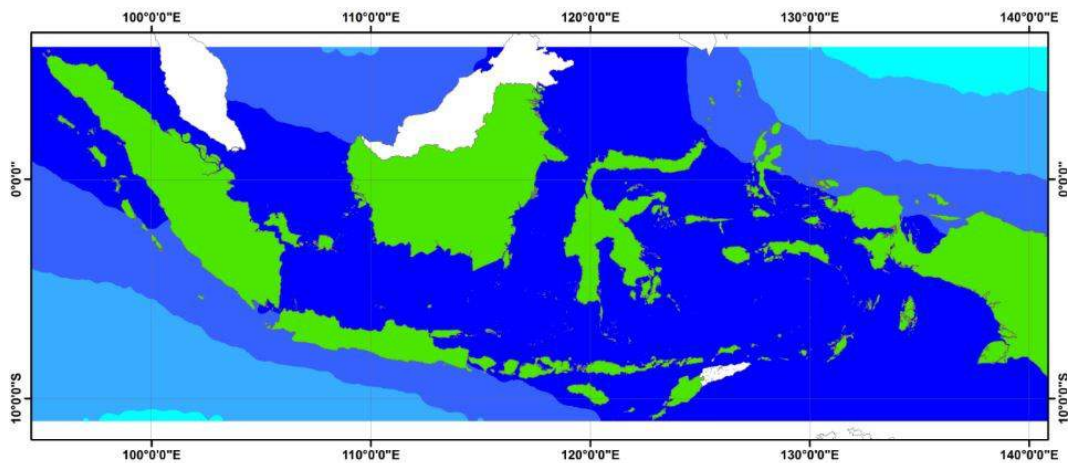


TECHNICAL WAVE ENERGY MAP

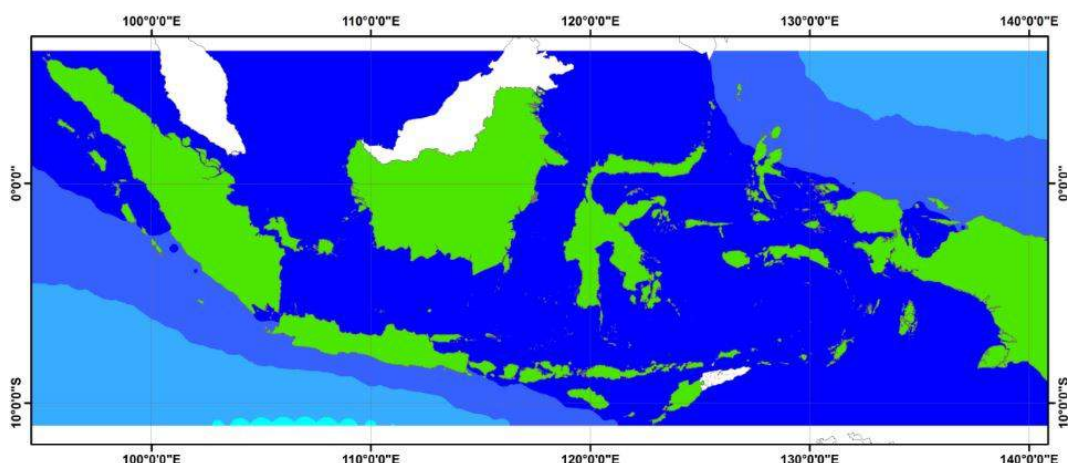
AVE. WAVE ENERGY

MONTHLY ANALYSIS

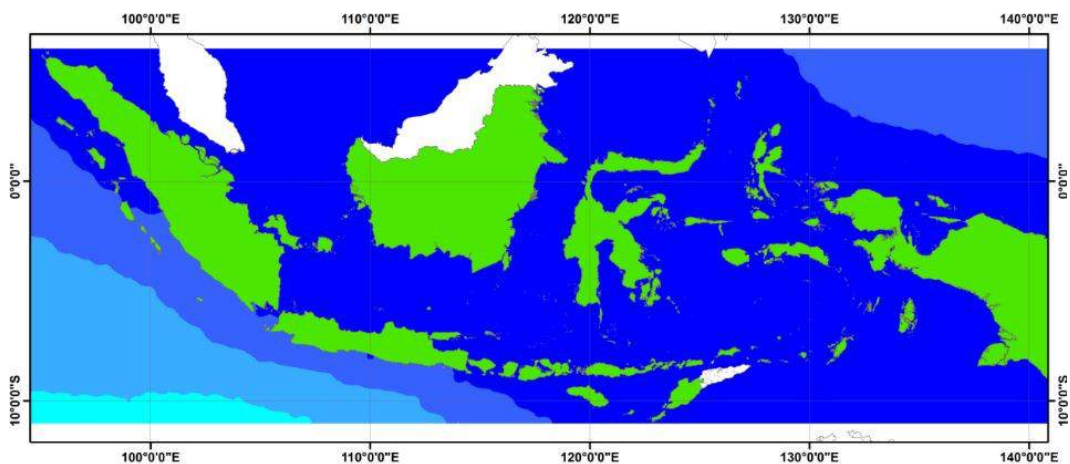
(MONTH) 2012 - 2016



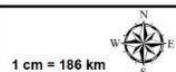
Februari (2012 – 2016)



Maret (2012 – 2016)



April (2012 – 2016)

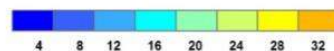


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)





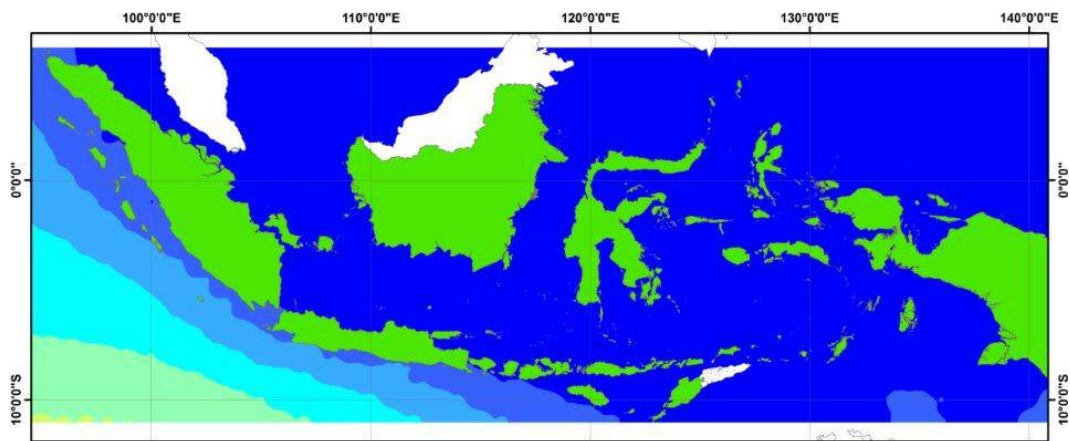
TECHNICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

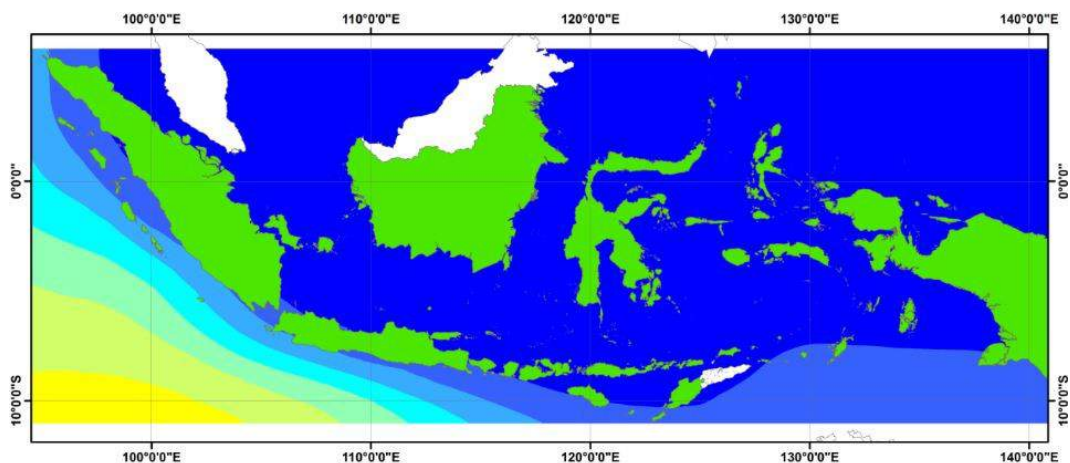
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

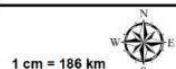
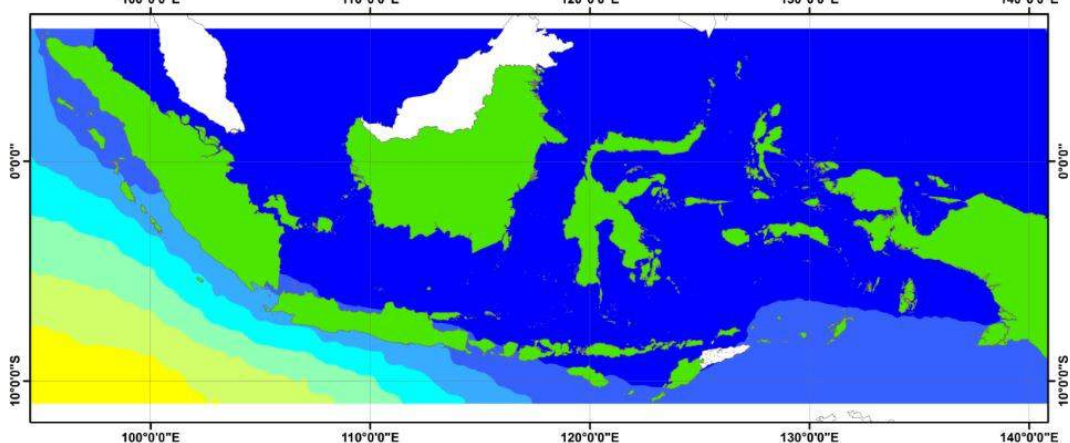
Mei (2012 – 2016)



Juni (2012 – 2016)



Juli (2012 – 2016)

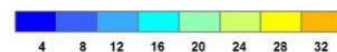


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)



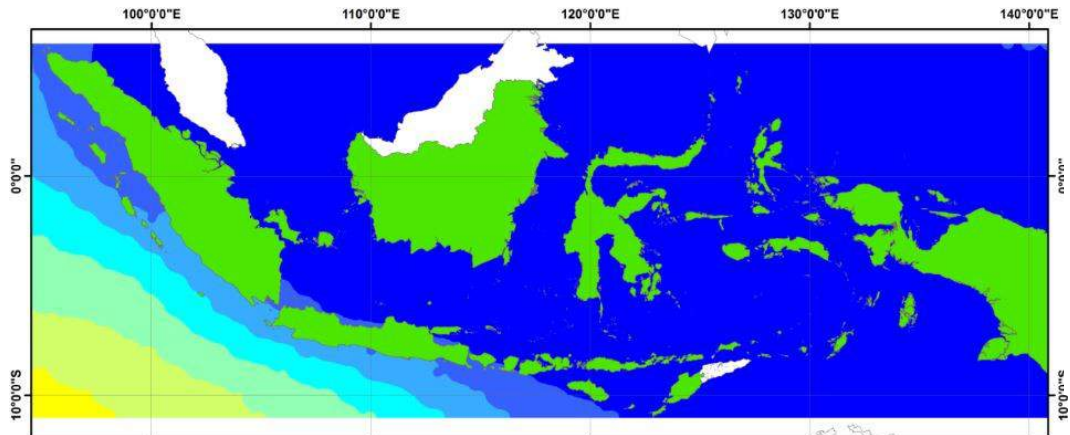


TECHNICAL WAVE ENERGY MAP

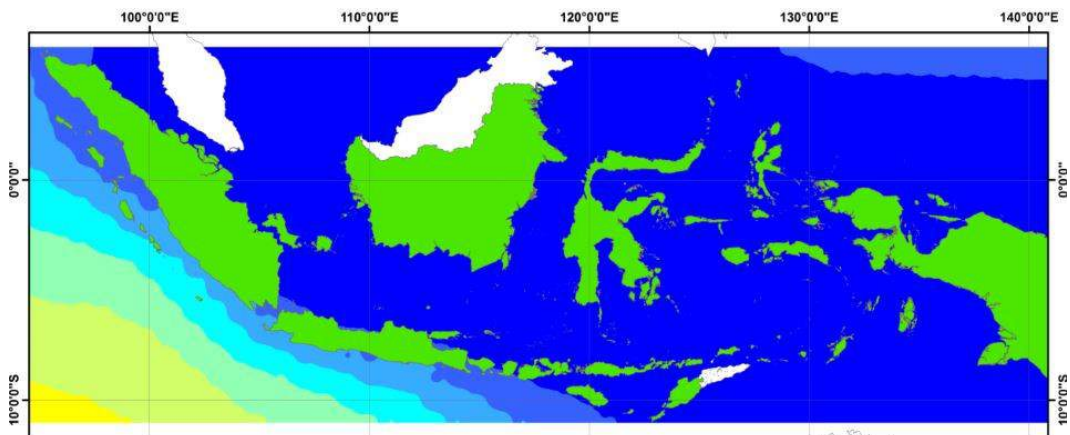
AVE. WAVE ENERGY

MONTHLY ANALYSIS

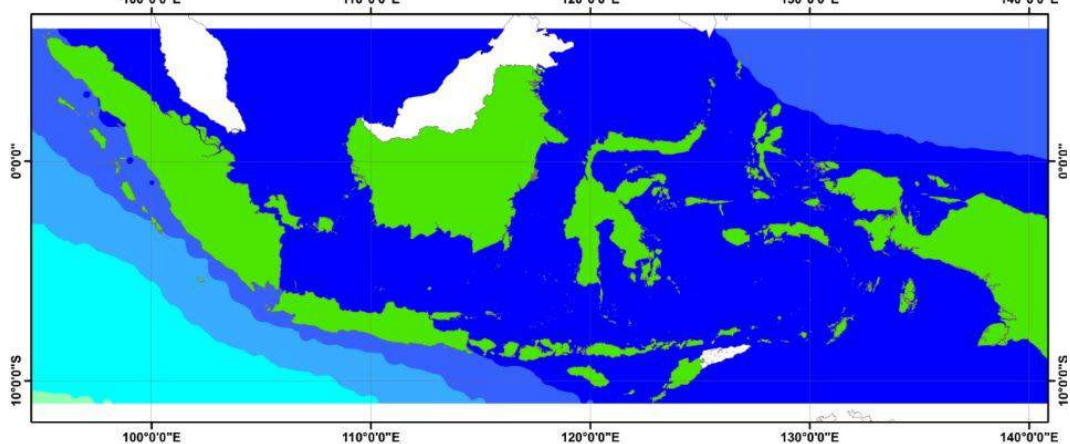
(MONTH) 2012 - 2016



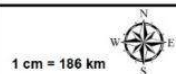
Agustus (2012 - 2016)



September (2012 - 2016)



Oktober (2012 - 2016)

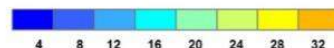


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)





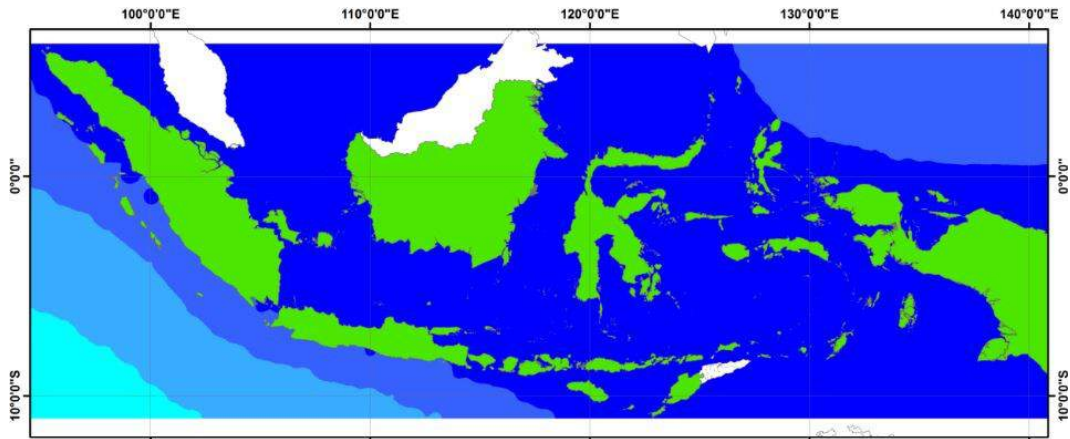
TECHNICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

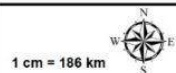
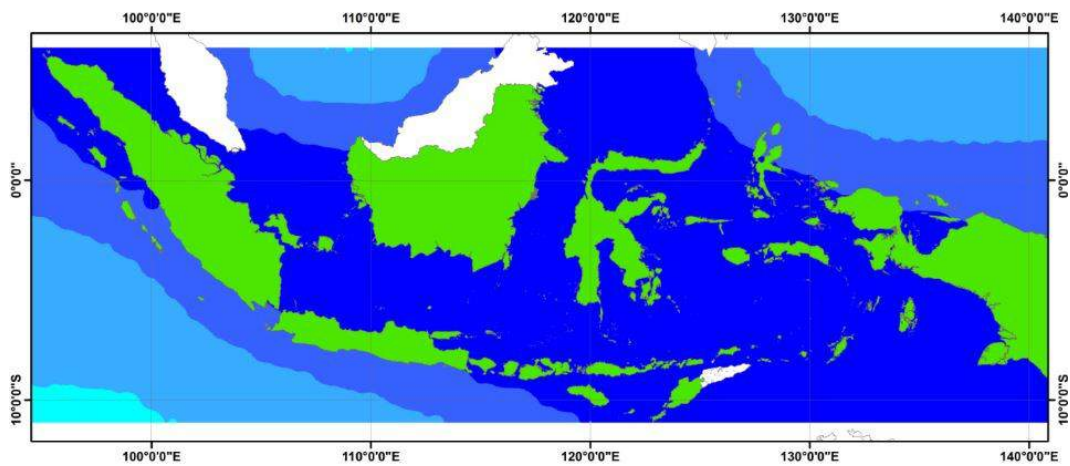
MONTHLY ANALYSIS

(MONTH) 2012 - 2016

November (2012 – 2016)



Desember (2012 – 2016)

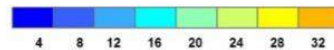


1 cm = 186 km

Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Wave Energy (kW/m)



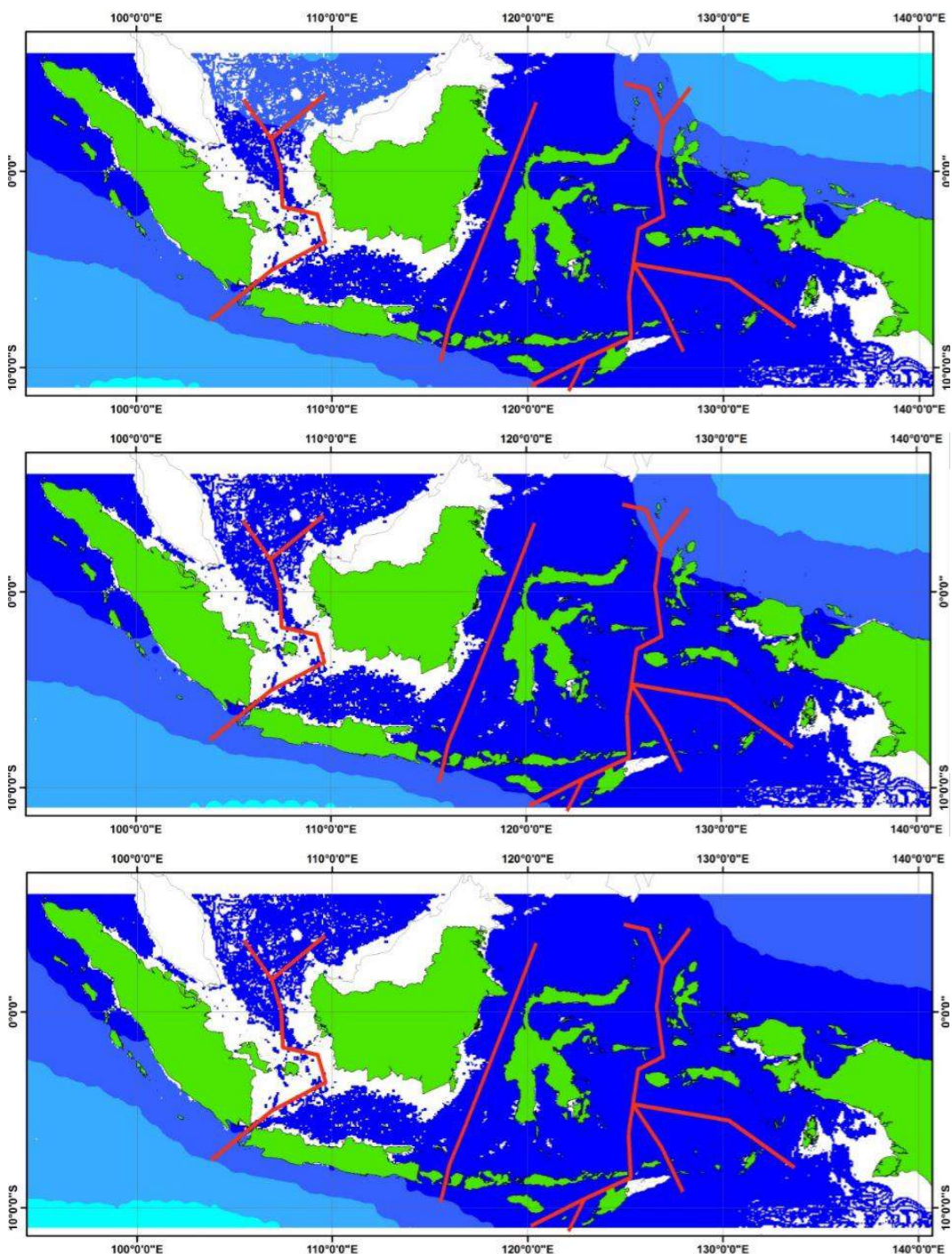


PRACTICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

INDONESIA

(MONTH) 2012 - 2016



Februari (2012 – 2016)

Maret (2012 – 2016)

April (2012 – 2016)



1 cm = 186 km

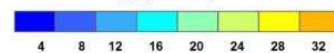
Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Legenda

— Alur Laut Kepulauan Indonesia

Wave Energy (kW/m)





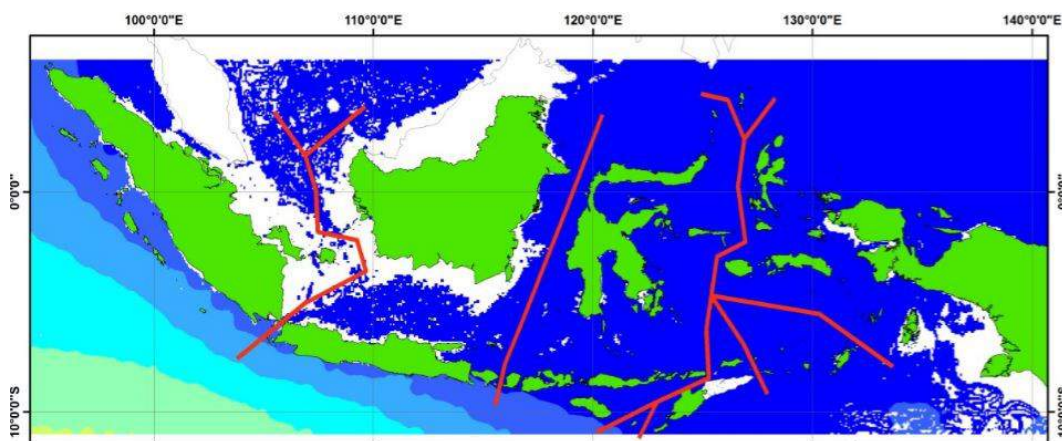
PRACTICAL WAVE ENERGY MAP

AVE. WAVE ENERGY

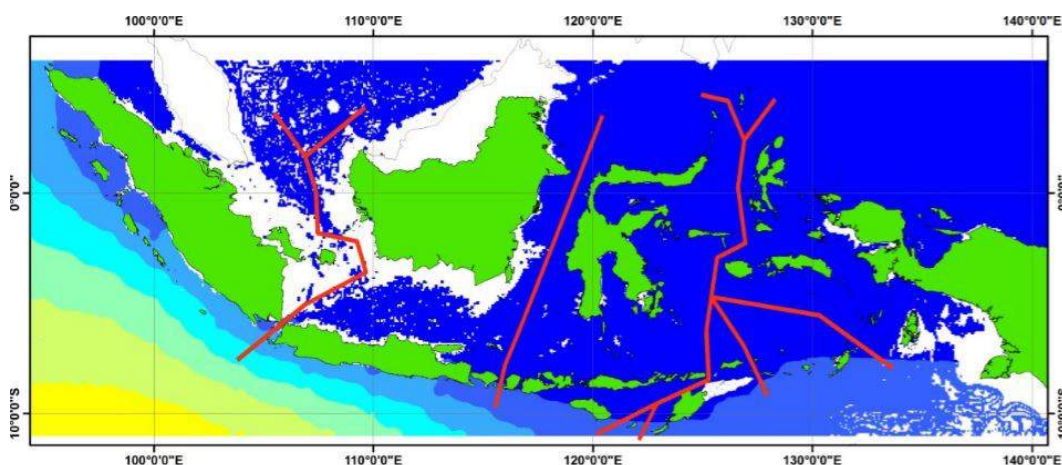
INDONESIA

(MONTH) 2012 - 2016

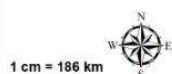
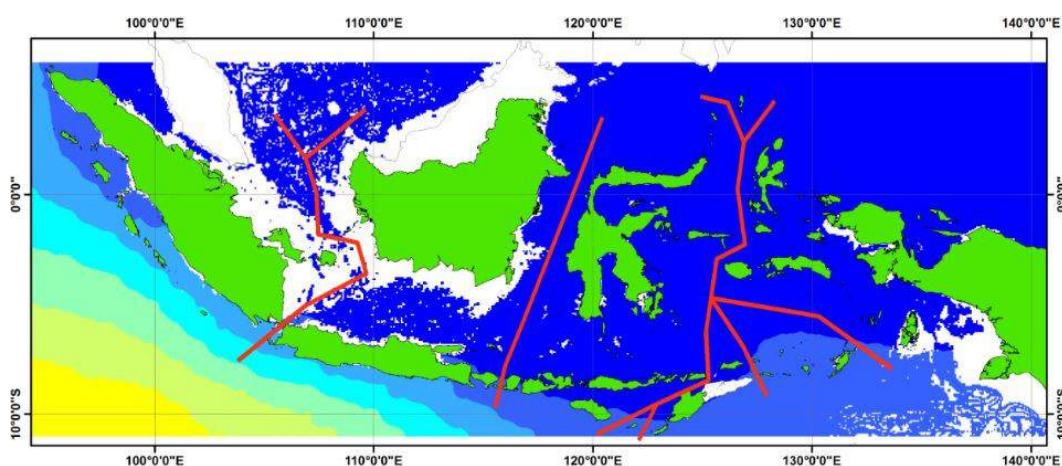
Mei (2012 – 2016)



Juni (2012 – 2016)



Juli (2012 – 2016)



1 cm = 186 km

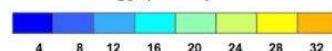
Datum : WGS 1984
Proyeksi : Geodetic

Sumber Data :
1. Satelit Altimetry

Legenda

— Alur Laut Kepulauan Indonesia

Wave Energy (kW/m)



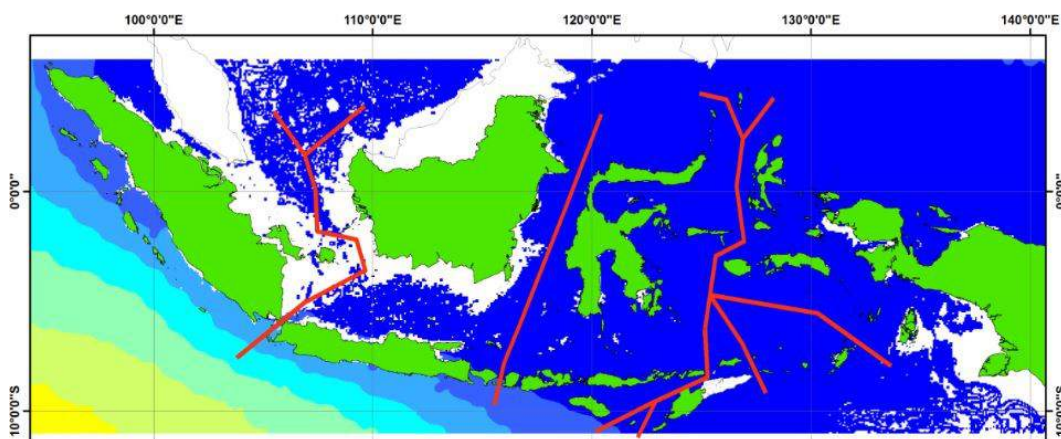


PRACTICAL WAVE ENERGY MAP

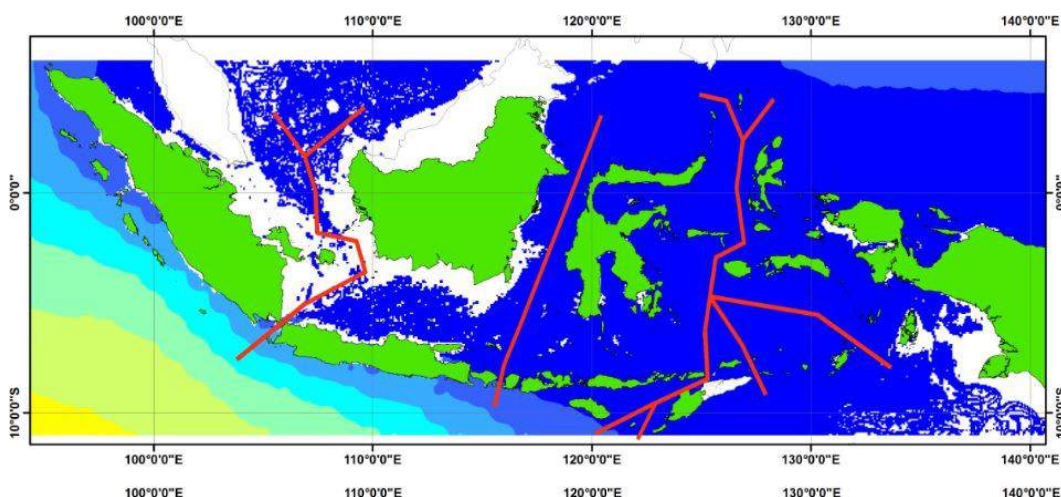
AVE. WAVE ENERGY

INDONESIA

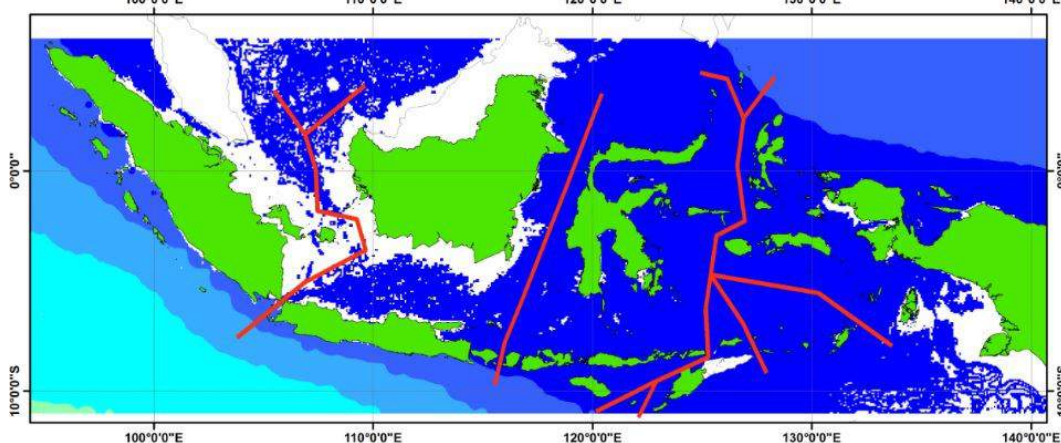
(MONTH) 2012 - 2016



Agustus (2012 – 2016)



September (2012 – 2016)

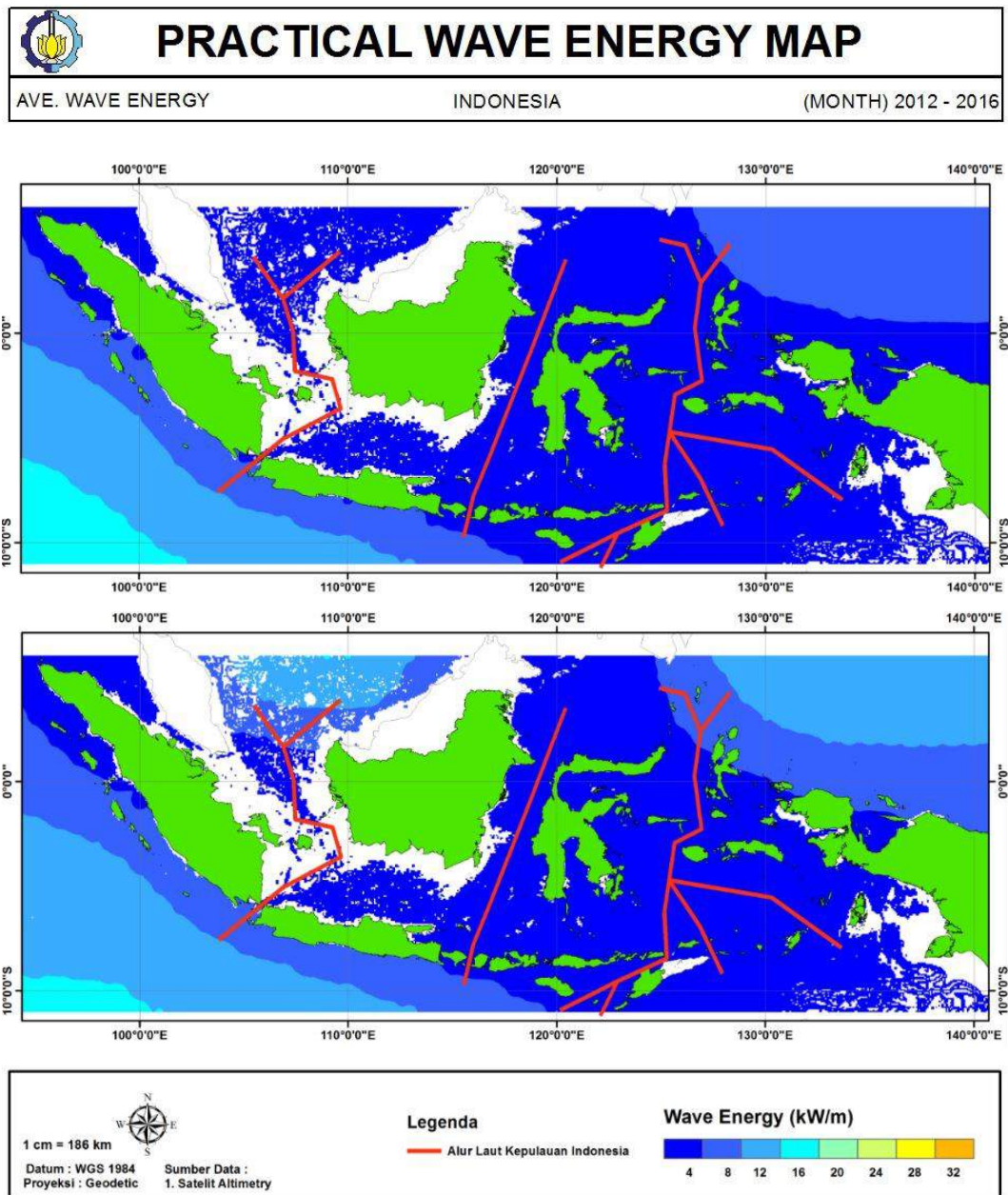


Oktober (2012 – 2016)



November (2012 – 2016)

Desember (2012 – 2016)



Power Matrix Aqua Buoy

TP (s)	Power Matrix (dalam kW)												
Hs (m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	8	11	12	11	10	8	7	0	0	0	0
1,5	0	13	17	25	27	26	23	19	15	12	12	12	7
2	0	24	30	44	49	47	41	34	28	23	23	23	12
2,5	0	37	47	69	77	73	64	54	43	36	36	36	19
3	0	54	68	99	111	106	92	77	63	51	51	51	27
3,5	0	0	93	135	152	144	126	105	86	70	70	70	38
4	0	0	0	122	176	198	188	164	137	112	91	91	49
4,5	0	0	0	223	250	239	208	173	142	115	115	115	62
5	0	0	0	250	250	250	250	214	175	142	142	142	77
5,5	0	0	0	250	250	250	250	250	211	172	172	172	92

Power Matrix Pelami

[illegible]

Power Matrix LEANCON

Tz (s)	Power Matrix (dalam kW)						
Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9
1	128	192	240	192	160	160	160
2	0	768	960	768	640	640	640
3	0	0	2160	1728	1440	1440	1440
4	0	0	0	3072	2560	2560	2560
5	0	0	0	0	4320	4320	4320
>5,5	0	0	0	0	0	4600	4600

Power Matrix RM5 OSWEC

Tp (s)	Power Matrix (dalam kW)													
	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5
0,75	12	17	19	21	23	22	21	19	19	17	16	14	13	12
1,25	32	41	45	48	52	49	45	42	40	36	35	32	29	27
1,75	58	72	77	82	87	81	74	70	67	60	58	53	49	45
2,25	91	110	116	119	127	117	108	102	97	86	83	76	71	65
2,75	131	155	160	163	172	159	145	138	130	116	110	101	95	87
3,25	175	204	209	210	221	203	186	176	166	148	140	130	121	110
3,75	224	259	262	262	272	250	228	215	205	183	173	160	148	135
4,25	277	317	319	316	327	299	272	257	246	220	207	192	177	162
4,75	335	360	360	360	360	349	317	302	288	259	243	225	209	190
5,25	360	360	360	360	360	360	360	349	333	299	280	261	242	220
5,75	360	360	360	360	360	360	360	360	360	340	319	299	276	251

BIODATA PENULIS



Fahreza Okta Setyawan, lahir di Surabaya – Jawa Timur pada 27 Oktober 1993 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Teguh Setyawanto dan Farida Suryati Liputo. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SD Kemala Bhayangkari 1 Surabaya, kemudian melanjutkan ke SMPN 12 Surabaya, dan SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya. Penulis menempuh pendidikan tinggi di Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya dan lulus Sarjana (S1) pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan studi Pascasarjana (S2) pada tahun 2016 di Departemen Teknik Kelautan dengan mengambil bidang Teknik dan Manajemen Energi Laut (TMEL). Selama masa perkuliahan penulis aktif di bidang akademik dan non akademik. Penulis pernah menjabat sebagai Koordinator Asisten mata kuliah Pemetaan Sumberdaya Hayati Laut pada tahun 2014 dan pernah menjabat sebagai Koordinator Divisi Perlengkapan pada tahun 2013 saat OSPEK mahasiswa program studi Ilmu Kelautan. Dalam bidang keprofesian, pengalaman yang dimiliki penulis antara lain pernah menjalani 2 bulan masa kerja praktik di LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) Jakarta divisi pengolahan data satelit. Ketertarikan penulis terhadap energi laut menjadikan motivasi penulis dalam mendalami bidang ini sehingga menghasilkan beberapa karya tulis berupa Skripsi, Tesis, serta Jurnal. Karya tulis pertama berupa Skripsi yang berjudul “Identifikasi dan Pemetaan Potensial Energi Gelombang Laut di Perairan Selatan Jawa”. Selanjutnya jurnal yang telah diseminarkan pada Seminar Internasional SENTA yang berjudul “Identification and Mapping Potential Wave Energy in Indonesian Waters”, dan Tesis yang berjudul “Identifikasi dan Pemetaan Lokasi Potensial Energi Gelombang Laut di Perairan Indonesia”. Penulis dapat dihubungi melalui email Setyawan.fahreza@gmail.com atau melalui nomor seluler 085649499656.